

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Svařování plastů technologií horkých zrcadel

Welding Plastics Using Hot Plate Technology

Student:

David Nejezchleba

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Vladislav Ochodek

Ostrava 2019

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. David Nejezchleba**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Téma: Svařování plastů technologií horkých zrcadel
Welding Plastics Using Hot Plate Technology
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor technologií svařování plastů v automobilovém průmyslu.
2. Proveďte charakteristiku použitých materiálů a svařovaných dílů.
3. Charakterizujte technologii horkých zrcadel.
4. Navrhněte a realizujte zkušební program ověření dané technologie na vybraných součástech.
5. Proveďte diskusi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

ASM. Handbook vol. 6, *Welding, Brazing, Soldering*. ASM 2001.
NIEH, JennYeu; JAMES LEE, L. Hot plate welding of polypropylene. Part I: Crystallization kinetics. *Polymer Engineering & Science*, 1998, 38.7: 1121-1132.
KLEIN, Rolf. *Laser Welding of Plastics: Materials, Processes and Industrial Applications*. John Wiley & Sons, 2012.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Vladislav Ochodek**

Datum zadání: 21.12.2018

Datum odevzdání: 20.05.2019

Ing. Lucie Krejčí, Ph.D.
vedoucí katedry

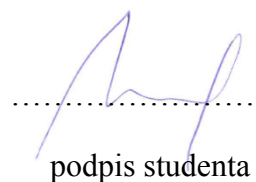


prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Úsově 5. 5. 2019

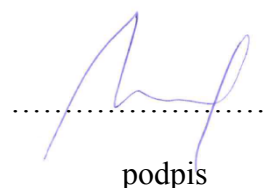


podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem, byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Úsově 5. 5. 2019



podpis

Jméno a příjmení autora práce:

David Nejezchleba

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Podlesí 185, 789 73 Úsov

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Nejezchleba, D. *Svařování plastů technologií horkých zrcadel: diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2019, 51 s. Vedoucí práce: Ochodek, Vladislav.

Diplomová práce se zabývá spojováním plastů pomocí svařovací technologie horkých zrcadel. V části teoretické jsou rozebrány plasty, jejich vlastnosti a vhodnost pro jejich svařování. Dále jsou popsány možnosti svařování plastových materiálů pomocí používaných svařovacích technologií zejména v automobilovém průmyslu. Praktická část je věnována rozboru technologie svařování horkými zrcadly, a to jak z pohledu procesu svařování, používaných zařízení, tak z pohledu konstrukce přípravku pro svařování pomocí technologie horkých zrcadel. Na svařovaném vzorku jsou znázorněny prováděné testy. Závěrem práce je zhodnocení kvality svaru a výhody použití této technologie.

ANNOTATION OF MASTER THESIS

Nejezchleba, D. *Welding Plastics Using Hot Plate Technology: Master Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2019, 51 p. Thesis head: Ochodek Vladislav.

This Master Thesis is focused on joining of plastics using hot plate welding technology. The theoretical part is description of plastics and their properties and suitability for welding. Furthermore, the possibilities of welding of plastics by welding technologies, especially in automotive industry. The experimental part is devoted to analysis of hot plate welding technology from two sides. One is welding process and second is design assembly of equipment. The conclusion of the thesis is the evaluation of the weld quality and advantages of using this technology for welding plastics.

1 Obsah

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | OBSAH | 6 |
| 2 | SEZNAM ZNAČEK A SYMBOLŮ | 8 |
| 3 | ÚVOD | 9 |
| 4 | PLASTY | 10 |
| 4.1 | ROZDĚLENÍ POLYMERŮ | 10 |
| 4.2 | PŘÍSAKY POUŽÍVANÉ DO POLYMERŮ | 12 |
| 4.3 | VLASTNOSTI POLYMERŮ | 13 |
| 5 | SPOJOVÁNÍ PLASTŮ | 14 |
| 5.1 | MECHANICKÉ SPOJOVÁNÍ | 15 |
| 5.2 | LEPENÍ PLASTŮ | 16 |
| 6 | SVAŘOVÁNÍ PLASTŮ | 17 |
| 6.1 | SVAŘITELNOST PLASTŮ | 18 |
| 6.2 | TAVNÉ METODY SVAŘOVÁNÍ TERMOPLASTŮ | 19 |
| 6.2.1 | <i>Svařování horkými zrcadly (Hot Plate Welding)</i> | <i>19</i> |
| 6.2.2 | <i>Svařování horkým vzduchem (Hot Gas Welding)</i> | <i>19</i> |
| 6.2.3 | <i>Extruzní svařování (Extrusion Welding)</i> | <i>20</i> |
| 6.2.4 | <i>Svařování infračerveným paprskem (Focused Infrared Welding)</i> | <i>21</i> |
| 6.2.5 | <i>Laserové svařování (Laser Welding)</i> | <i>21</i> |
| 6.3 | TŘECÍ METODY SVAŘOVÁNÍ | 22 |
| 6.3.1 | <i>Vibrační svařování (Vibration Welding)</i> | <i>22</i> |
| 6.3.2 | <i>Svařování třením (Spin Welding)</i> | <i>23</i> |
| 6.3.3 | <i>Ultrazvukové svařování (Ultrasonic Welding)</i> | <i>24</i> |
| 6.4 | ELEKTROMAGNETICKÉ METODY SVAŘOVÁNÍ | 25 |
| 6.4.1 | <i>Odporové svařování (Resistance Welding)</i> | <i>25</i> |
| 6.4.2 | <i>Indukční svařování (Induction Welding)</i> | <i>25</i> |
| 6.4.3 | <i>Vysokofrekvenční svařování (Dielectric Welding)</i> | <i>26</i> |
| 6.5 | HODNOCENÍ SVARŮ | 26 |
| 7 | SVAŘOVÁNÍ PLASTŮ HORKÝMI ZRCADLY V AUTOMOTIVE | 27 |
| 7.1 | TEORIE SVAŘOVÁNÍ TECHNOLOGIÍ HORKÝCH ZRCADEL | 27 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 7.2 | VÝHODY A NEVÝHODY | 29 |
| 8 | ZAŘÍZENÍ PRO TEPELNÉ SVAŘOVÁNÍ | 30 |
| 8.1 | ZAŘÍZENÍ POUŽITÉ PRO TESTOVÁNÍ | 30 |
| 9 | SVAŘOVACÍ PŘÍPRAVKY | 31 |
| 9.1 | KONSTRUKCE PRODUKTU PRO SVAŘOVÁNÍ | 31 |
| 9.2 | MATERIÁLY A VÝROBA PŘÍPRAVKŮ | 33 |
| 9.3 | PROBLÉMY A PORUCHY PŘI SVAŘOVÁNÍ | 34 |
| 10 | POUŽÍVANÉ MATERIÁLY A POŽADAVKY NA KVALITU | 36 |
| 10.1 | SVAŘITELNOST MATERIÁLŮ TECHNOLOGIÍ HORKÝCH ZRCADEL | 36 |
| 10.2 | POŽADAVKY NA KVALITU | 36 |
| 11 | ZADNÍ SKUPINOVÉ SVÍTILNY | 37 |
| 11.1 | TESTOVANÁ ZADNÍ SKUPINOVÁ SVÍTILNA | 37 |
| 11.2 | TESTOVANÝ PŘÍPRAVEK PRO TEPELNÉ SVAŘOVÁNÍ | 38 |
| 12 | ZKOUŠKY SVAROVÉHO SPOJE | 42 |
| 12.1 | KONTROLA PARAMETRŮ | 42 |
| 12.2 | ZKOUŠKA TĚSNOSTI NA POKLES TLAKU | 43 |
| 12.3 | DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKA TLAKEM | 44 |
| 12.4 | NEDESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKA TLAKEM | 46 |
| 12.5 | DESTRUKTIVNÍ ZKOUŠKA | 47 |
| 12.6 | ZKOUŠKA NATAVENÍ MATERIÁLU | 48 |
| 12.7 | VIZUÁLNÍ KONTROLA SVARU | 49 |
| 13 | ZÁVĚR | 50 |
| 14 | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY | 51 |

2 Seznam značek a symbolů

| <i>Značka / Symbol</i> | <i>Význam</i> | <i>Jednotka</i> |
|------------------------|---|-----------------|
| PVC | Polyvinylchlorid ($\text{C}_2\text{H}_3\text{Cl}$) _n | [-] |
| PE | Polyethylen (C_2H_4) _n | [-] |
| ABS | Akrylonitrilbutadienstyren | [-] |
| PP | Polypropylen | [-] |
| CPVP | Chlorovaný Polyvinylchlorid | [-] |
| PVDF | Polyvinylidenfluorid | [-] |
| PEX | Síťovaný Polyethylen | [-] |
| UV | Ultrafialové záření | [nm] |
| T _g | teplota skelného přechodu | [°C] |
| T _m | teplota tání | [°C] |
| IR | Infračervené záření | [nm/mm] |
| W | watt – jednotka výkonu | [W] |
| Hz | hertz – jednotka frekvence | [Hz] |
| μm | mikrometr – odvozená jednotka délky | [μm] |
| kHz | kilohertz – odvozená jednotka frekvence | [kHz] |
| MHz | megahertz – odvozená jednotka frekvence | [MHz] |
| kW | kilowatt – odvozená jednotka výkonu | [kW] |
| PTFE | Polytetrafluorethylen – teflon | [-] |
| PC+ABS | Polykarbonát/akrylonitrilbutadiénstyren | [-] |
| PMMA | Polymethylmethakrylát | [-] |
| mbar | milibar – jednotka barometrického tlaku | [mbar] |
| mbar·l/s | hodnota úniku | [mbar·l/s] |
| N/mm ² | tlak – působení síly na plochu | [Pa] |
| Nm | newtonmetr – jednotka momentu síly | [Nm] |

3 Úvod

Plasty jsou v dnešní době nedílnou součástí našich všedních dnů, ať se jedná o věci každodenní potřeby, či jiného rázu. V průmyslu jsou plasty novodobými konstrukčními materiály. Zejména automobilový průmysl stále více zvyšuje procento používání plastových materiálů v automobilech. Jedná se o nahrazování kovových komponent z důvodu snížení váhy v důsledku snižování emisí a energické náročnosti výroby kovových dílů. Vzhledem k tomuto trendu je na tyto materiály zvyšován nárok na jejich technické vlastnosti. Předností plastových materiálů vůči jiným konstrukčním materiálům je odolnost vůči degradaci, chemikáliím, dlouhá životnost či minimální nároky na údržbu. Materiály jsou málo energeticky náročné na výrobu a z tohoto důvodu jsou vhodné pro masovou výrobu součástí.

Vzhledem k širokému využití plastových materiálů v průmyslu je nutné je také spojovat. Na tyto spoje jsou kladeny jak kvalitativní nároky, tak funkční nároky. Pro spojování plastových materiálů je možné využití rozebíratelných či nerozebíratelných spojů s ohledem na použití dané konstrukce. Typy spojování mohou být od mechanickou fixaci pomocí přídatného materiálu přes nerozebíratelné svařované spoje či těsné spoje mezi komponenty zaručené lepením či svařováním.

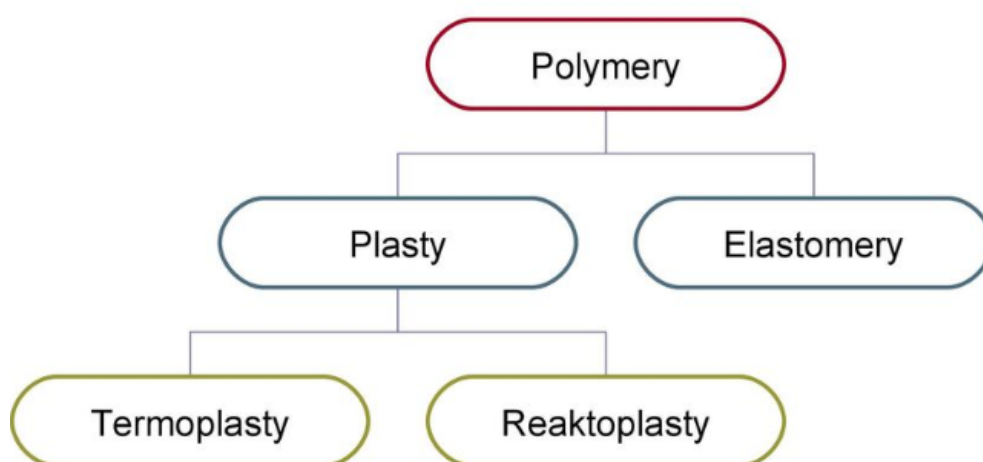
Svařování plastových materiálů je jednou z nejpoužívanějších technologií pro spojování dvou plastových komponent. Pro svařování plastových komponent v automobilovém průmyslu využíváme nejčastěji technologii ultrazvukového svařování, vibračního svařování, svařování pomocí laseru, svařování horkými zrcadly či horkým vzduchem. Každá z těchto technologií má svá specifika s tím plynoucí výhody i nevýhody. Práce se zabývá svařováním zadních skupinových světlometů automobilu za použití technologie svařování horkými zrcadly. Testováním svaru a porovnáním s jinými technologiemi svařování, výhodami, nevýhodami a náklady. Účelem práce je potvrdit správnost výběru dané technologie svařování pro tento typ výrobků s ohledem na kvalitu a funkčnost svaru.

4 Plasty

Plast je syntetický materiál vyrobený z polymerních látek s velkou molekulovou hmotností. Přestože jsou plasty ve svém konečném stavu pevné, tak jsou zpracovávány za kapalného stavu. Slovo plast je odvozené od řeckého slova „plastikos“ či latinského slova „plasticas“, která znamenají „být tvarován“. Plastikářský průmysl je znám již přes 110 let, a to od roku 1907, kdy byl objeven první plastický materiál, a to fenol formaldehyd neboli bakelit. V období druhé světové války byly používány pro výrobu plastového potrubí plasty polyvinylchlorid (PVC) a polyethylen (PE). V padesátých letech minulého století byly do portfolia plastů přidány akrylonitril-butadien-styren (ABS) a polypropylen (PP). V šedesátých letech je následovaly chlorovaný polyvinylchlorid (CPVP), polyvinylidenfluorid (PVDF) a zesíťovaný polyethylen (PEX). V současné době jsou nejpoužívanější plasty sloučeniny základních pryskyřic a různých aditiv [1].

4.1 Rozdělení polymerů

Polymery jsou mnohdy v průmyslu zaměňovány se slovem plasty. Plasty jsou však podskupinou polymerů, kde termín plasty určuje tvářitelnost polymerů v přítomnosti tepla. Polymery tedy rozdělujeme do dvou základních kategorií plastů a elastomerů. Do elastomerů patří kaučuky a mezi plasty řadíme termoplasty a reaktoplasty (termosety). Rozdělení plastů je dle vnitřní struktury, která určuje jejich vlastnosti [2, 3].



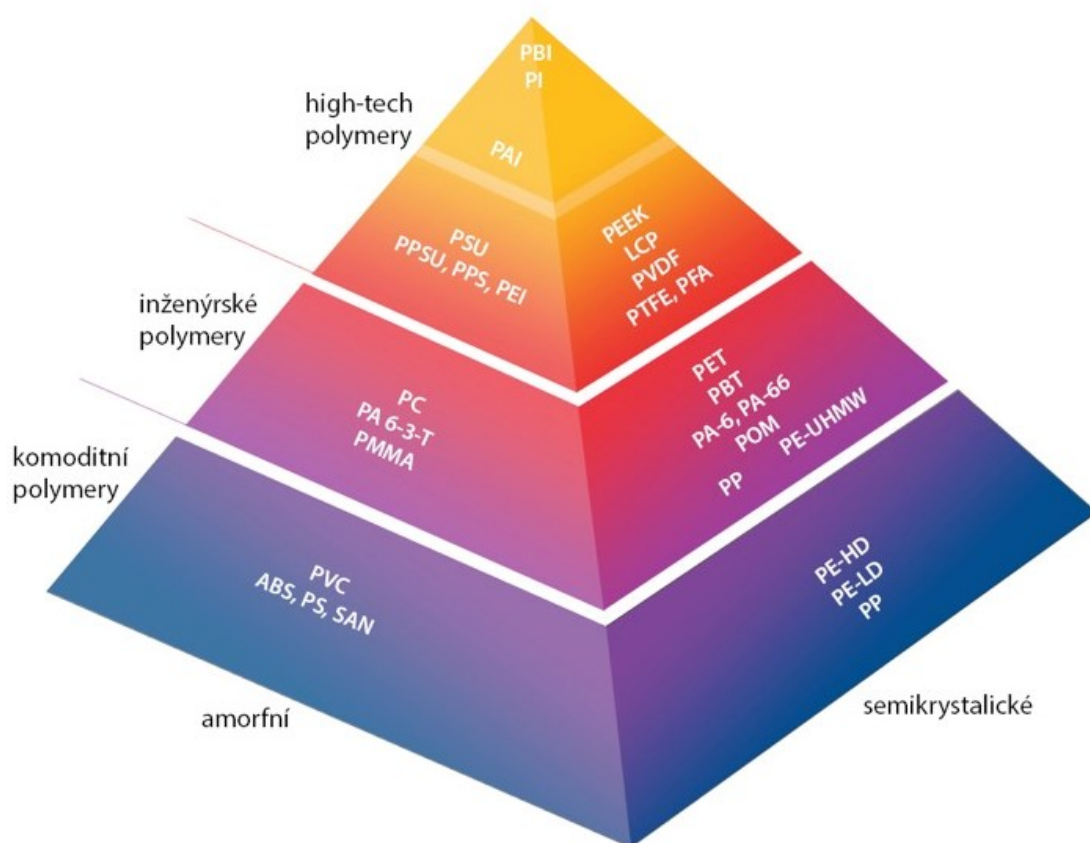
Obrázek 1 – Rozdělení polymerních materiálů podle vnitřní struktury [3].

Elastomery jsou amorfní polymery, které je možné za normálních podmínek pomocí malé síly deformovat bez porušení. Sestávají se z relativně dlouhých a zapletených polymerních řetězců s vysokým stupněm flexibility a mobility. Propletení je v síťové struktuře, která je důsledkem chemických nebo fyzikálních vazeb. Elastomery mají fyzikální

křížové vazby, aby mohly být zpracovávány teplem. Nejčastějšími aplikacemi jsou například těsnění, pryžové podložky, pneumatiky, trubky nebo při smíchání s tvrdým plastem se používá, jako modifikátor rázu [2].

Termoplasty jsou definovány, jako materiál, který se působením tepla taví a po ochlazení se vytvrzuje. Termoplasty mohou být recyklovány a používány znovu. Pro použití recyklovaného materiálu se používá technologie vstřikování nebo vytlačování, kde je vstupní materiál granulát a v případě recyklovaného materiálu regranulát [2].

Reaktoplasty neboli termosety jsou materiály, které se působením tepla nebo zpracováním s danými chemikáliemi nevratně vytvrdí. Pryskyřice projde chemickou změnou a vytvoří vazby se sousedními molekulovými řetězci. Díky této vlastnosti jsou tyto materiály vhodné pro vysokoteplotní aplikace, jako jsou rukojeti nádobí či silikonové pečicí formy [2].

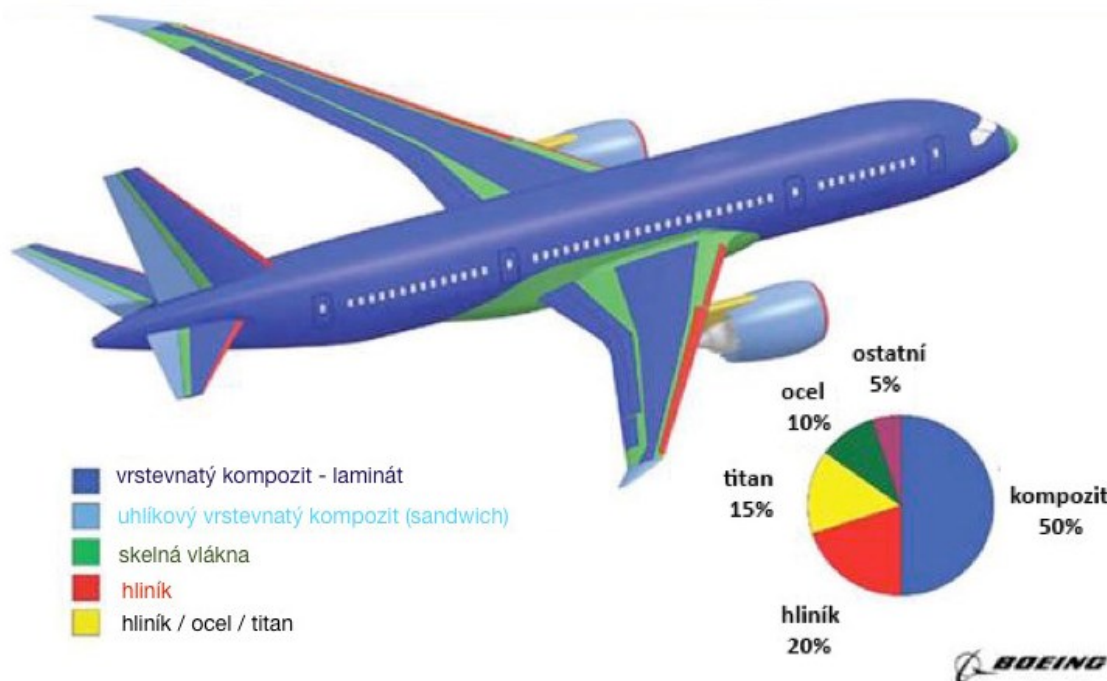


Obrázek 2 – Rozdělení polymerů podle použití [3].

4.2 Přísady používané do polymerů

Vlastnosti polymerů, které jsou dány jeho typem mohou být zlepšovány pomocí přísad. Přísady mohou ovlivňovat zpracovatelnost, snižovat cenu či zvyšovat odolnost vůči degradaci. Mezi významné přísady můžeme řadit stabilizátory, které zvyšují odolnost vůči vysokým teplotám a zpomalují degradační procesy (tepelné stabilizátory) nebo zvyšují odolnost vůči UV záření (světelné stabilizátory). Tyto přísady chrání výrobky z polymerů dlouhodobě. Dalšími důležitými přísadami jsou barviva, opticky zjasňující látky, maziva, změkčovadla, antistatika, nadouvadla nebo retardéry plnění [3].

Velice důležitou přísadou z hlediska konstrukcí jsou plniva, která mohou být organická nebo anorganická. Pro nevyztužující charakter se používá částicové plnivo ve formě prášku nebo částic malých rozměrů. Takto upravené polymery se používají například pro podlahy venkovních teras, kde plnivo je dřevitá moučka a výsledná podlaha nemá nežádoucí vlastnosti dřeva, ale vizuální efekt zůstává. Plniva s vyztužujícím charakterem se používají ve formě vláken různé délky pro zvýšení rázové houževnatosti polymerů. Nejvýznamnějšími jsou skleněná a uhlíková vlákna. U takto upravených polymerech mluvíme o polymerních kompozitech. Používají se pro strojírenské aplikace s mimořádnými požadavky na mechanické vlastnosti při nízké hustotě. V největším množství je můžeme najít v letectví a automobilovém průmyslu [3].



Obrázek 3 – Kompozitní díly letadla Boeing 787 [12].

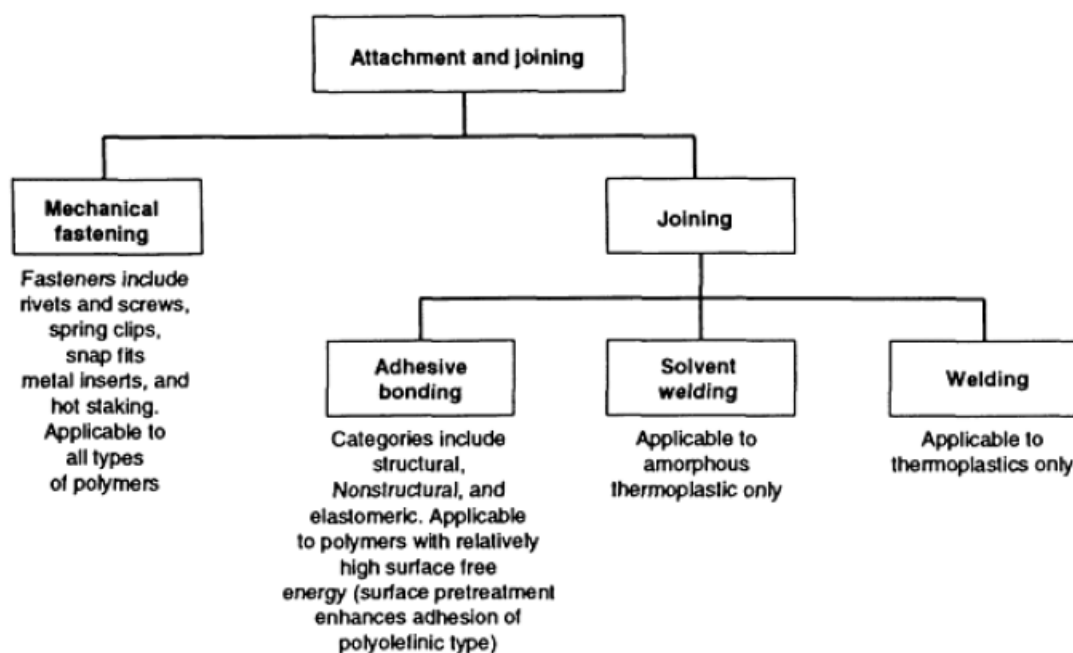
4.3 Vlastnosti polymerů

Chemická struktura polymerů má vliv na jejich vlastnosti. Chemickým základem pro vznik polymerů je polymerizace. Polymerizaci lze rozdělit na řetězovou a neřetězovou podle způsobu narůstání makromolekulárních řetězců během syntézy. Informace týkající se vlastností polymerních materiálů najdeme v jejich technické specifikaci. Mezi obecné vlastnosti plastů patří nízká hmotnost s vysokým poměrem pevnosti k hmotnosti, jednoduchá a levná výroba, voděodolnost, tepelná a elektrická izolace, odolnost vůči korozi a chemikáliím, široká škála barev včetně transparentních, odolnost vůči nárazům a dobrá životnost [14].

Pro zajištění správnosti dodávaného materiálu existují inspekční certifikáty, které zaručují kvalitu a vlastnosti dodávaného materiálu. Inspekční list obsahuje měřitelné charakteristiky, jako je index toku taveniny, který udává molární hmotnost plastu, obsah popela, hustotu a zbytkovou vlhkost materiálu [3].

5 Spojování plastů

Ve většině aplikací jsou po výrobě dílu vyžadovány další kroky, jako je spojování vícero dílů dohromady. Pro spojování plastových dílů můžeme využít mechanického upevnění nebo nerozebíratelné spojování, jako je lepení či svařování. Na spojovací technologii je potřeba myslet již v konstrukčním návrhu součásti z důvodu zvolení nejvhodnější technologie [4]. Vytvoření úspěšného spoje závisí na čtyřech faktorech: chemické povaze polymeru, povrchové volné energii, povrchové topografii a znečištění povrchu polymeru prachem, olejem a mastnotou [5].

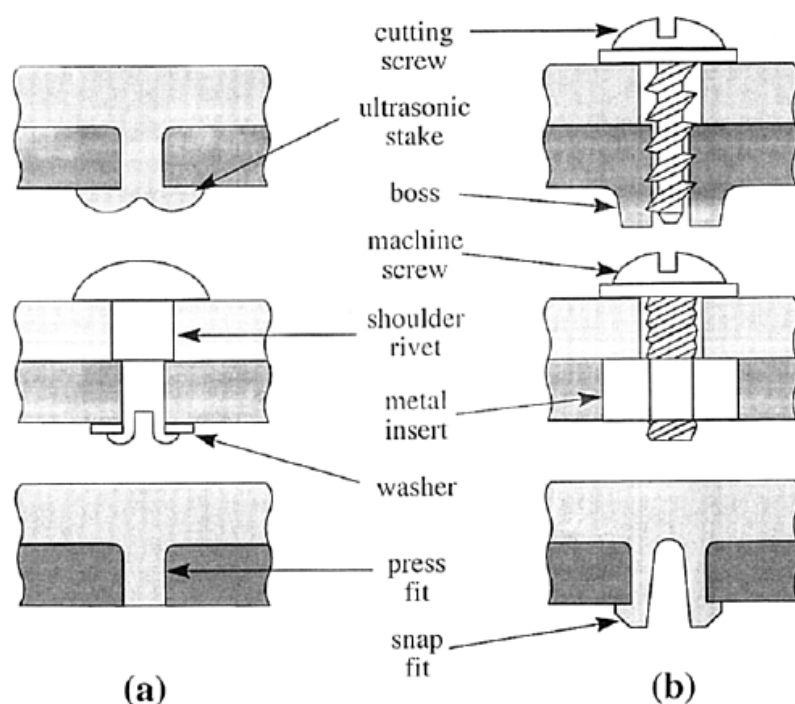


Obrázek 4 – Rozdělení spojování plastových materiálů. Připevňování a spojování.

Zleva: mechanické spojování (upevňovací prvky zahrnují nýty a šrouby, pružinové svorky, západky, kovové vložky a tepelné nýty. Použitelné jsou pro všechny typy polymerů. Spojování. Lepení. Tato kategorie zahrnuje strukturální, nestrukturální a elastomerní. Použitelné pro polymery s relativně vysokou volnou povrchovou energií (předúprava povrchu zvyšuje adhezi polyolefinického typu). Solventní svařování. Použitelné pouze pro amorfnní termoplasty. Svařování. Použitelné pouze pro termoplasty [5].

5.1 Mechanické spojování

Mechanické spojování může být buď trvalé nebo konstruované pro demontáž. Mezi trvalé mechanické spoje řadíme ultrazvukové piny, tepelné piny, kovové nýty či lisovací trny. Komponenty vyrobené z polykarbonátových pryskyřic vykazují vysokou tuhost ve skleněném stavu jsou tak vhodné pro ultrazvukové nýtování. Velikost a tvar zachycovací oblasti je obvykle určen kompromisem mezi estetickým vzhledem a pevnostními požadavky výsledného spoje. Při použití kovového nýtu je potřeba vkládat podložky na rozšířených koncích, které zaručí dostatečnou vůli při namáhání. Pro mechanické spojování s možností demontáže se používají šrouby s kovovými vložkami, samořezné šrouby nebo plastové úchyty na komponentech. Nejjednodušší způsob je pomocí samořezných šroubů. Nejlepší opakovatelnost při montáži je potom zaručena u použití šroubu a vložky. Závitové vložky mohou být vkládané do komponentů před montáží nebo mohou být zastříknuté přímo v komponentu během jeho výroby. Úchyty jsou konstruovány přímo na jednom z plastových dílů. Při použití úchytů se kontroluje spoj na tah v různých úrovních deformace [4]. Typickými příklady použití mechanického spojování jsou odvětví kosmického průmyslu, letectví, automobilní průmysl a stavebnictví [5].



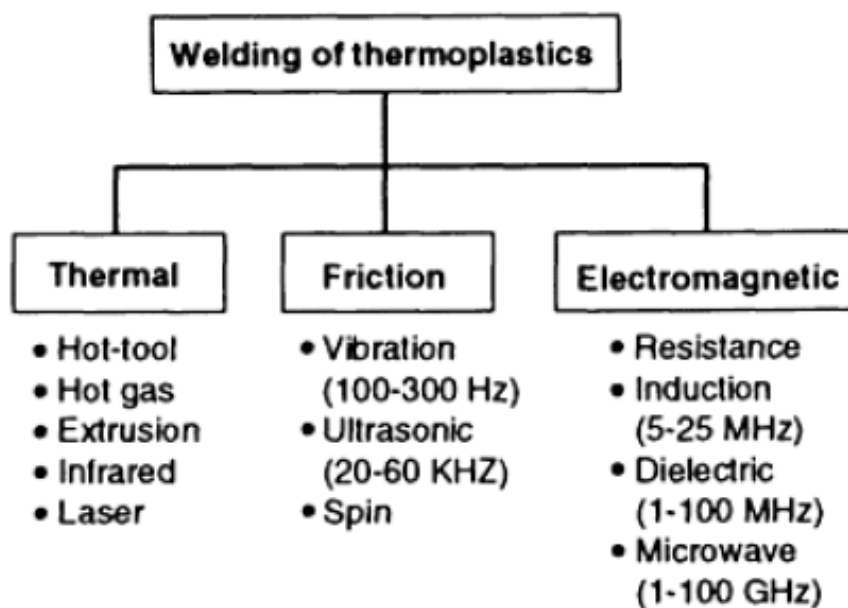
Obrázek 5 – Příklady mechanických spojů (a) nerozebíratelné – ultrazvukový spoj, nýt s podložkou, na dotek (b) rozebíratelné – samořezný šroub, šroub s kovovou vložkou, spojovací geometrie [4].

5.2 Lepení plastů

U lepení plastů je nejdůležitější adheze k lepenému materiálu a koheze vytvrzeného filmu lepidla. Lepidla určená pro lepení plastových dílů rozdělujeme na jednosložková a dvousložková. Nejběžněji používané jednosložkové systémy jsou anaerobní látky, které se vytvrzují díky kyslíku a kyanoakryláty, které se rychle vytvrzují při pokojové teplotě. Dvousložková lepidla se mísí bezprostředně před použitím a jejich vytvrzování je chemickou reakcí. Mezi nejčastěji používané řadíme epoxidy, urethany a akryly. Odborný název pro lepidlo je adhezivum. Konstruktivní lepidla se obecně používají v aplikacích, kde mají spoje vysoký poměr pevnosti k hmotnosti. Úprava povrchů lepených materiálů je klíčem pro pevnost a spolehlivost spojů. Vzhledem k tomu, že jsou spoje vystaveny několika typům napětí je nutné správně zvolit provedení spoje. V tahových spojih jsou síly kolmé k rovině spojů a u smykových spojů jsou síly rovnoběžné s rovinou spoje. Jednoduché spoje spadají do kategorie smykových spojů. Dvojitě spoje jsou kombinací obou napětí [4].

6 Svařování plastů

Vzhledem k tomu, že pro svaření dvou plastových dílů je nutné částečné natavení spojované části obou komponent, působením tlaku dojde k promísení makromolekul ve spoji a následným ochlazení dojde k vytvrzení spoje, tak je možné technologie svařování aplikovat jen na termoplastické polymery. Teplota skelného přechodu T_g v amorfních polymerech a teplota tání T_m v krystalických polymerech musí být překročena, takže polymerní řetězce mohou získat dostatečnou mobilitu pro inter difuzi. Tepelná energie může být dodávaná z vnějšku nebo interně. V případě externího ohřevu je zdroj tepla odstraněn před působením tlaku. V případě interního ohřevu je použití závislé na vlastnostech daného materiálu. Obecně se jedná o působení tepla a tlaku současně což má za výsledek kratší svařovací čas. Svařování plastů můžeme rozdělit do několika etap. V průběhu počáteční etapy se molekuly polymerního řetězce stávají pohyblivými a dochází k jejich přesunu k povrchu. Následuje zvlhčení a difúze polymerních řetězců. Poslední etapou je ochlazování a tuhnutí [4, 5].



Obrázek 6 – Klasifikace svařovacích metod termoplastů. Svařování termoplastů. Tepelné – tepelné těleso, horký plyn, extrusní, infračerveným paprskem. Třecí – vibrační, ultrazvukové, třecí. Elektromagnetické – odporové, indukční, vysokofrekvenční, mikrovlnné [5].

6.1 Svařitelnost plastů

Všechny termoplasty spolu nejsou dobře svařitelné. Nejlepších výsledků je dosahováno v případě použití stejných termoplastů, ale není vyloučené svařování různých kombinací termoplastu. Z hlediska molekulární struktury není možné svařovat materiály s amorfni strukturou a částečně krystalické materiály. Pro svařování plastů je důležitým kritériem chování materiálu tzv. index toku. Svařitelnost materiálů si můžeme prohlédnout v tabulce 1, která funguje, jako kombinační matice pro svařování plastů.

|  | | ASA (Luran) | ABS | COC | LCP (Vectra) | MAES (Terlux) | PC-ABS | PA (Degamid) | PA 6 (Anjamid) | PA6.6 | PA 12 | PEEK | PPO/PA (Noryl GTX) | PBT GF30 | PE-Seide | PE-LD | PE-HD | PEI (Utem) | PES | PET | PC (Makrolon) | PMMA (Plexiglas, Luxacryl) | POM | PP (Novolen, Vestolen) | PPA (Amudel) | PPS (Fortron) | PS | PSU (Ultrason) | PVC | SAN | Silikon | TPU |
|---|--|-------------|-----|-----|--------------|---------------|--------|--------------|----------------|-------|-------|------|--------------------|----------|----------|-------|-------|------------|-----|-----|---------------|----------------------------|-----|------------------------|--------------|---------------|----|----------------|-----|-----|---------|-----|
| ASA (Luran) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ABS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| LCP (Vectra) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| MAES (Terlux) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PC-ABS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PA (Degamid) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PA 6 (Anjamid) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PA6.6 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PA 12 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PEEK | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PPO/PA (Noryl GTX) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PBT | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PE-Seide | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PE-LD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PE-HD | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PEI (Utem) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PES | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PET | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PC (Makrolon) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PMMA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| POM | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PP (Novolen, Vestolen) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PPA (Amudel) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PPS (Fortron) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PSU (Ultrason) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PVC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SAN | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Silikon | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| TPU | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

mischbar
nicht mischbar



von Jenoptik Automatisierungstechnik verschweißt
alle anderen mischbaren Kunststoffe sind potenziell auch schweißbar!

X

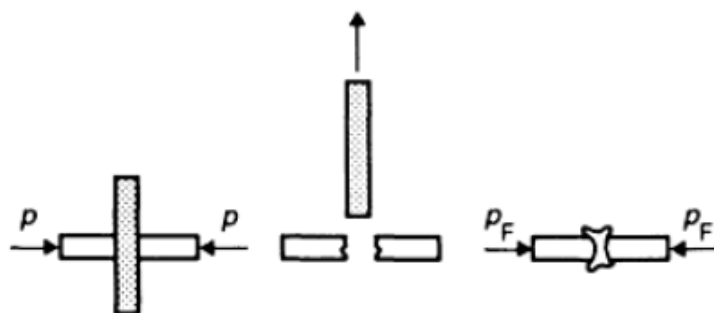
Tabulka 1 – Matice svařitelnosti materiálů [9].

6.2 Tavné metody svařování termoplastů

Principem tavného svařování termoplastických materiálů je působení tepla pro vytvoření natavení a následného působení tlaku pro spojení materiálů. Mezi tavné metody svařování řadíme následující [6]:

6.2.1 Svařování horkými zrcadly (Hot Plate Welding)

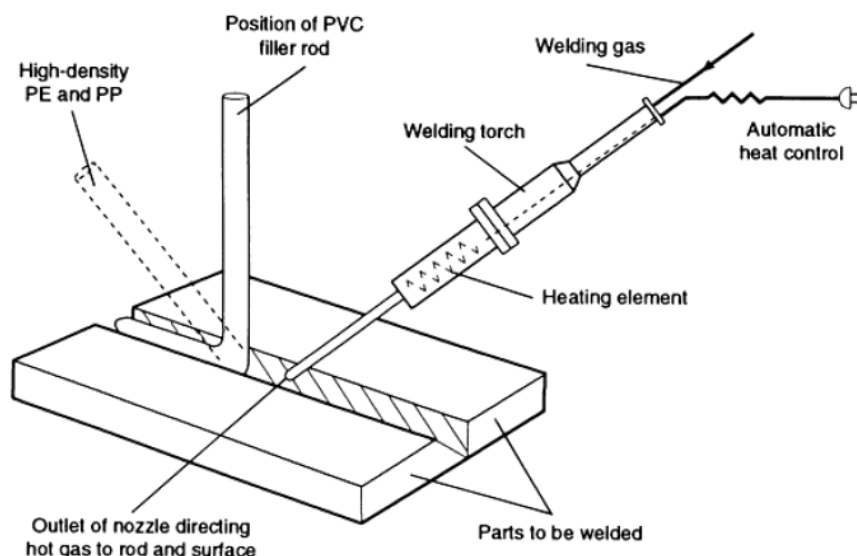
Svařování horkými zrcadly je technologie, která zaujímá významnou pozici mezi tavnými metodami svařování termoplastů. Touto metodou je možné vytvářet svary s pevností rovnající se základnímu materiálu. Princip svařování spočívá v nahřátí povrchů spojovaných materiálů přímým kontaktem mezi spojovaným materiálem a nahřívacím tělesem. Při vytvoření potřebného nataveného filmu dojde k odstranění nahřívacího tělesa, spojení spojovaných dílů pomocí tlaku a přirozenému ochlazení. V závislosti na velikosti dílů se doba svařování pohybuje od 10 s do 60 min. Nahřívací tělesa jsou většinou povrchově upravena pomocí polytetrafluorethenem (PTFE), aby se zabránilo naleptání polymerů na nahřívací nástroj. Tento typ svařování se používá v různých odvětvích průmyslu [5].



Obrázek 7 – Princip svařování horkými zrcadly [5].

6.2.2 Svařování horkým vzduchem (Hot Gas Welding)

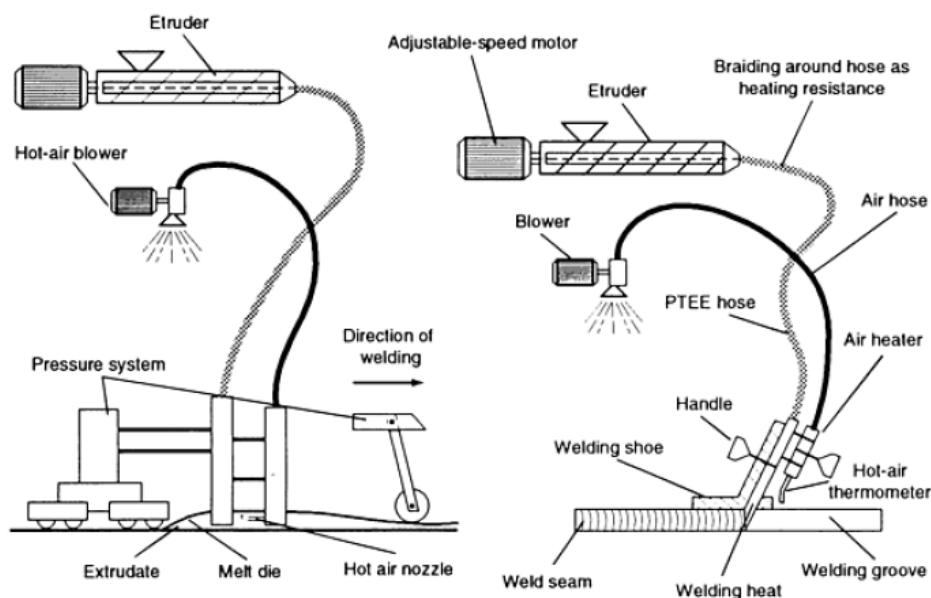
Proud horkého vzduchu nebo plynu (dusík, vzduch, oxid uhličitý, vodík nebo kyslík) je namířen k plniči a spojovaná oblast je nahřívána pomocí hořáku. Plnicí tyč nebo páska (podobného složení, jako polymer) je jemně zatlačena mezi materiály. Pro různé aplikace je k dispozici několik typů trysek a je možné automatizované nebo ruční svařování. Teplota plynu během svařování se může pohybovat od 200 °C do 600 °C v závislosti na svařovaném polymeru. Nevýhodou tohoto typu svařování je, že teplota plynu je mnohem vyšší než teplota tání svařovaného polymeru. Používá se ve stavebnictví a automobilovém průmyslu [5].



Obrázek 8 – Schéma svařování horkým vzduchem [5].

6.2.3 Extruzní svařování (Extrusion Welding)

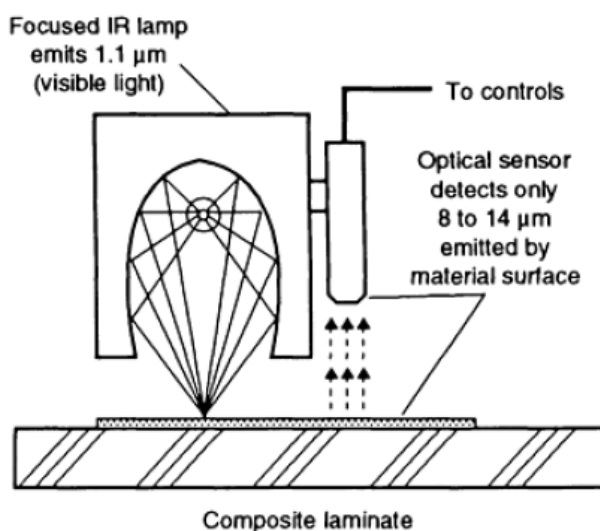
V případě svařování extruderem probíhá natavení spojovaných materiálů podobně, jako u svařování horkým vzduchem. Nahřívacím elementem je zde horký vzduch a plastifikovaný plnicí materiál je vtlačovaný automaticky pod tlakem do spojů ve tvaru písmene „V“ nebo do švů pomocí přitlačné patky. Předehřívání přídavného materiálu probíhá v plastifikační jednotce, která se skládá z vyhřívaného válce se šnekem nebo pístem. Tato technologie se nejčastěji používá pro dlouhých švů s tlustým průřezem např. svařování kontejnerových sekcí [5, 6].



Obrázek 9 – Schéma svařování extruderem [5].

6.2.4 Svařování infračerveným paprskem (Focused Infrared Welding)

Tato svařovací technologie používá křemennou žárovku a zaostřuje infračervené (IR) záření pomocí vysoce leštěných parabolických reflektorů. Šířka IR paprsku se pohybuje od 1,5 – 3,0 mm. Robotické zařízení kontroluje IR paprsek u obou spojovaných materiálů a ve chvíli dosažení potřebné teploty je paprsek odstraněn a komponenty tlakem spojeny. Snímače jsou umístěny v blízkosti lampy a jsou kalibrovány tak, aby měřili pouze teplotu natavení spojovaných materiálů. Natavení spojovaných materiálů probíhá absorpcí IR paprsku. Každý materiál má jinou absorpci, kde obecně platí, čím je materiál tmavší tím lépe je svařitelný. Jedná se o méně známou technologii, a tudíž sebou nese určitá rizika [5, 6].



Obrázek 10 – Schématické znázornění IR svařování [5].

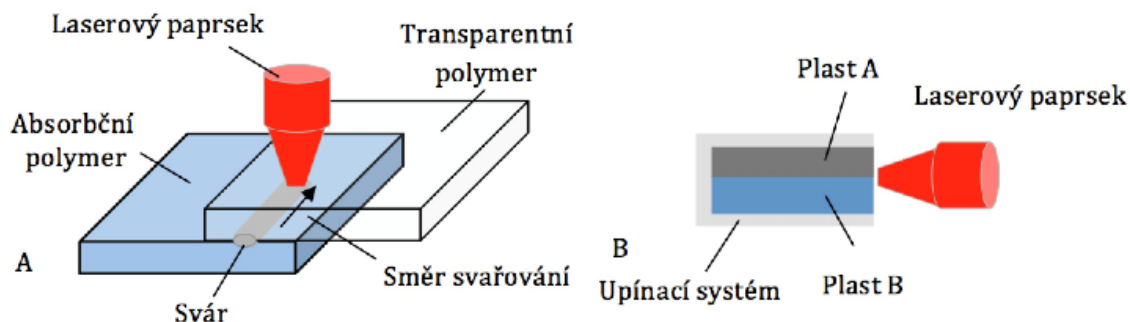
6.2.5 Laserové svařování (Laser Welding)

Laser je optický zesilovač, který generuje elektromagnetické záření za pomoci stimulované emise fotonů. Principem funkčnosti laseru je aktivní prostředí, které je buzeno čímž je dodávána energie, která je za pomoci stimulované emise vyzařena v podobě laserového svazku. Pro vyzaření laserového svazku se nejčastěji používají zrcadla. Proces laserového svařování plastů je rychlý a výsledný svar je málo viditelný. Svařováním pomocí laserů se vytvoří kvalitní spoj s minimální degradací materiálů. Lasery pro svařování plastů se pohybují od 10 do 50 W. Pro svařování plastových dílů laserem používáme dva procesy:

- a) svařování natupo,
- b) transmisní.

Svařování natupo je nepoužívaným procesem svařování, jelikož během tohoto procesu je vytlačeno velké množství taveniny na povrch [5].

Transmisní neboli propustné svařování (transmission welding) je nejpoužívanějším procesem pro svařování plastů. Princip tohoto svařování je ve spojování dvou materiálů, kde jeden je transparentní a druhý absorpční. Transparentním materiálem laserový paprsek pronikne do absorpčního, kde vznikne teplo a dojde k natavení materiálu a jejich spojení [5].



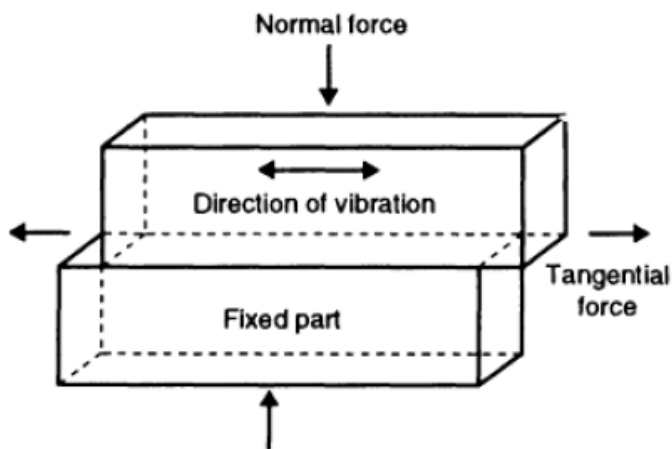
Obrázek 11 – Princip svařování plastů laserem [13].

6.3 Třecí metody svařování

Svařování pomocí tření je dlouho zavedenou technikou, která se obvykle používá pro spojování vstřikovaných dílů. Existuje šest variací třecího svařování: lineární, orbitální, více směrné, rotační, úhlové a třecí. Pro průmyslové aplikace se využívá rotačního a lineárního svařování [6].

6.3.1 Vibrační svařování (Vibration Welding)

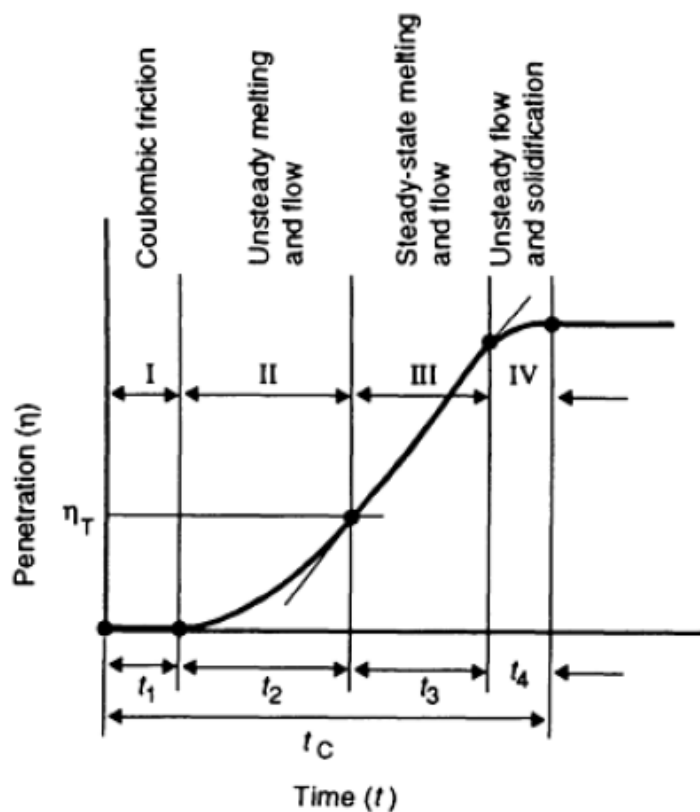
Svařované díly jsou upnuty a pomocí oscilačního pohybu pod tlakem jsou spojeny. Jednotlivé díly se zahřívají smykovým třením. Součásti jsou vibrovány, dokud není polymer nataven, po natavení je vibrační pohyb ukončen a součásti chlazeny pod tlakem [5].



Obrázek 12 – Schéma vibračního svařování [5].

Pro vibrační svařování se používají lineární stroje, ve kterých je střed pohybu umístěn mimo tvarovou část a úhlové stroje, ve kterých je střed pohybu umístěn uvnitř tvarové části. Lineární svařování je vhodné pro svařování dlouhých a úzkých součástí. Při lineárním svařování je k horní vibrující desce upínán svařovaný díl a spodní deska je pevná. Horní vibruje pomocí elektromagnetického nebo hydraulického pohonného systému na frekvencích 100–500 Hz. Vibrační amplituda se pohybuje v rozmezí od 0,1 do 5,0 mm v závislosti na použité frekvenci. Proces vibračního svařování můžeme rozdělit do čtyř fází:

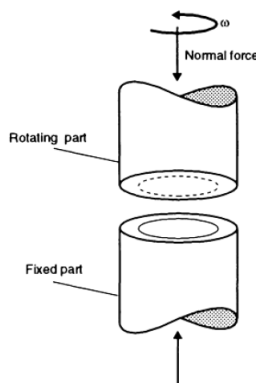
1. zahřívání na teplotu tání,
2. tavení a nestabilní tok materiálu,
3. ustálený stav tavení a spojení materiálu,
4. tuhnutí materiálu [5].



Obrázek 13 – Fázový diagram vibračního svařování [5].

6.3.2 Svařování třením (Spin Welding)

Třecí svařování je vhodné pro spojování válcových nebo kruhových součástí. Princip spočívá v tom, že jedna součást je pevně upnuta a druhá se otáčí při předepsané úhlové rychlosti a tlaku. Po dosažení požadované tloušťky natavení polymeru se rotační pohyb ukončí a součásti jsou stlačeny a chlazeny [5].

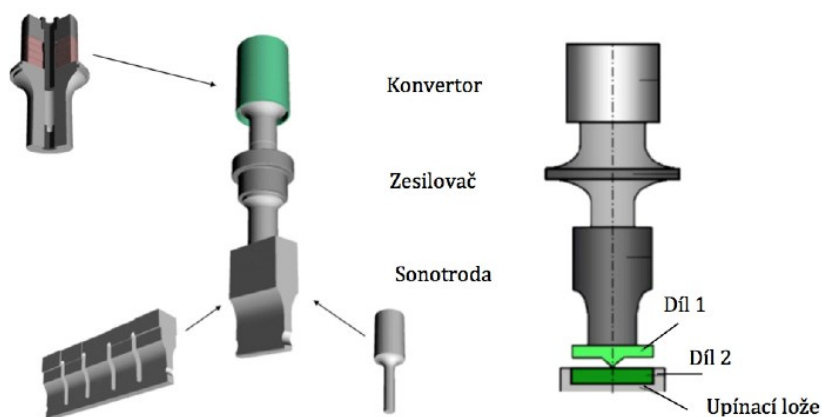


Obrázek 14 – Princip svařování třením [5].

Stroje pro třecí svařování obsahují několik senzorů pro indikaci rychlosti otáčení, axiálního tlaku, průniku svaru, rychlosti a točivého momentu během procesu. Tento typ svařování se používá v automobilovém průmyslu pro spojování malých kruhových dílů s vstřikovanými profily nebo spojování ventilačních armatur či benzínové filtry [5].

6.3.3 Ultrazvukové svařování (Ultrasonic Welding)

Nejrozšířenějším procesem pro spojování polymerů je právě ultrazvukové svařování. Pro svařování se využívá sonotrody s nízkou amplitudou (15–60 μm) a vysokofrekvenčních sinusových vibrací kolmo na svár. Frekvence pro ultrazvukové svařování se pohybuje v rozmezí od 10 do 50 kHz, ale běžně dostupná zařízení se pohybují v rozmezí 20-40 kHz. Stroje pro ultrazvukové svařování obsahují pohon s převodníkem, posilovač, houkačku a pneumatické ovládací prvky. Ultrazvukové vibrace jsou generovány vzrušivými piezoelektrickými nebo magnetostrikčními měničovými krystaly za použití elektrické energie ze zdroje. Sestava měniče je připevněna k podpěrné tyči, která zvyšuje nebo snižuje vibrační amplitudu. Posilovač je připojen k sonotrodě, která přenáší vibrace na svařované dílce [5].



Obrázek 15 – Části ultrazvukové svářečky [13].

Svařitelnost polymerů pomocí této technologie závisí na tlumící schopnosti nebo útlumové charakteristice polymeru jeho velikosti. V závislosti na vzdálenosti sonotrody od svařované plochy rozdělujeme ultrazvukové svařování na blízké (pod 6 mm) a vzdálené (nad 6 mm). Klíčové parametry pro svařování ultrazvukem jsou: amplituda vibrací pro svařování, tlak během procesu, svařovací geometrie, svařovací čas a aplikovaná energie a vztah mezi tlakem a svařovací silou. Tento typ svařování není vhodný pro velké součásti [5].

6.4 Elektromagnetické metody svařování

Tento typ svařování poskytuje jednoduché a rychlé řešení k výrobě konstrukčních, hermetických nebo vysokotlakých svarů. Proces je tak univerzální, že je možné spojovat téměř jakýkoli termoplastický materiál. Umožňuje spojovat i velmi obtížně spojitelné materiály [7].

6.4.1 Odporové svařování (Resistance Welding)

Při této technice je vodivý drát umístěn na rozhraní mezi svařovanými díly. Tato vložka je odporově ohřívána průchodem elektrického proudu, který taví termoplastické okolí vložky a vytváří svar. Drát po svaření zůstává ve svaru. Mezi klíčové spojovací parametry patří: aplikované napětí a proud, tlak upnutí v průběhu svařování, čas ohřevu a kontrola kontaminace povrchu. Zařízení pro odporové svařování je přenosné, a proto se používá pro opravy na místě [5].

6.4.2 Indukční svařování (Induction Welding)

Princip indukčního svařování spočívá v tom, že jako rozhraní ve svaru působí vrstva elektromagnetického materiálu ve formě pásky nebo tenkého plechu. Tento vložený materiál se zahřívá pomocí indukčního napájení s vysokou frekvencí (2-10 MHz). Elektromagnetické pásky obsahují vodivé a feromagnetické částice. Velikost, typ a koncentrace částic závisí na požadované aplikaci. Svařovací zařízení se skládá z vysokofrekvenčního indukčního generátoru, vodou chlazené měděné cívky a lisovací armatury, která drží dílec, tak aby byl zahříván. Hlavní výhodou této technologie je možnost spojování součástí se složitou geometrií. Používá se v automobilovém, spotřebním a obalovém průmyslu. Ve značné míře se používá i v lékařství [5].

6.4.3 Vysokofrekvenční svařování (Dielectric Welding)

Při vysokofrekvenčním svařování je spoj vystavován mnohem vyšší elektrické energii. Proces využívá tyto hlavní komponenty: generátor pro frekvenci elektrické energie 13-100 MHz na výstupu 1-25 kW a měřicí elektrody, které jsou přes hliníkové plechy namontované přímo na plastové díly. Tato technologie se používá pro těsnící spoje tenkých polymerních fólií a fóliových materiálů. Zařízení lze snadno automatizovat, ale náklady na pořízení jsou vysoké [5].

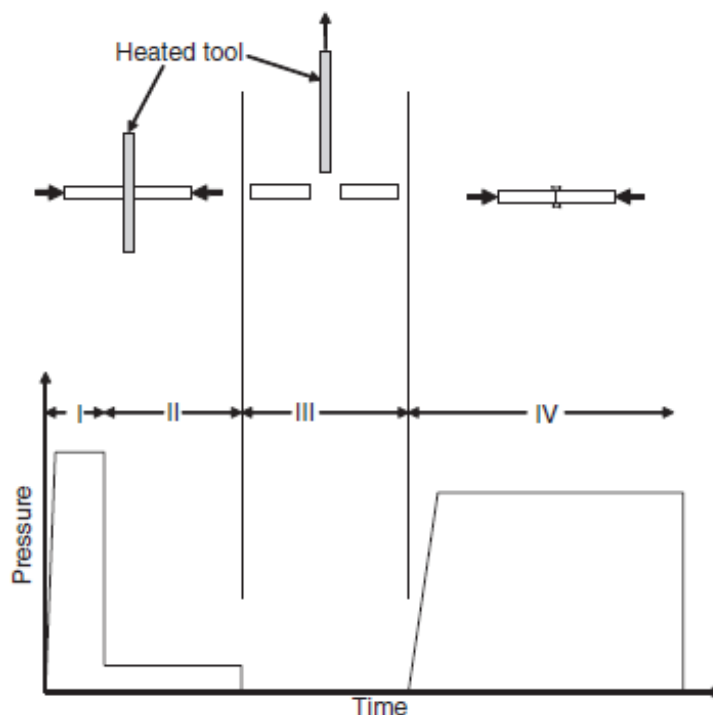
6.5 Hodnocení svarů

Vzhledem k tomu, že polymery jsou stále častěji používány v polostrukturálních aplikacích v automobilovém průmyslu (frontendové moduly, rámečky, nárazníky apod.) a jako nosné aplikace je důležité svarové spoje zkoušet. Mechanické vlastnosti svarů lze vyhodnotit standardními krátkodobými destruktivními zkouškami, jako je zkouška ohybem, zkouška tahem, zkouška dlouhodobého namáhání v tahu, odlupovací zkouška, makroskopická zkouška a zkouška tahem při nízkých teplotách. Norma pro destruktivní zkoušky svarových spojů plastů ČSN EN 12814 řeší ve svých částech jednotlivé zkušební metody případně požadavky na jejich splnění. Dle potřeby a požadavku lze zařadit také dlouhodobé destruktivní zkoušky např. zkoušku tečením. Používanými nedestruktivními zkouškami svarů plastů jsou vizuální kontrola, radiografická kontrola, kontrola ultrazvukem a zkouška vysokým napětím. Nedestruktivní zkoušky svarových spojů plastů jsou popsány v normě ČSN EN 13100 [14, 15].

7 Svařování plastů horkými zrcadly v automotive

7.1 Teorie svařování technologií horkých zrcadel

Svařování pomocí horkých zrcadel je široce používaná technologie pro svařování vstřikovaných plastových komponent. Tato technologie používá vyhřívanou kovovou desku, která je známá, jako topné těleso, která má za úkol nahřát a roztavit styčné plochy termoplastických dílů. Po natavení styčných ploch dojde k odsunu topného tělesa a komponenty jsou tlakem spojeny a vytvoří se svar. Během všech kroků (nahřívání a spojení / chlazení) působí na součásti síla. Svařování lze provádět pomocí dvěma způsoby, a to tlakem nebo vzdálenostně. Na obrázku 4.1. jsou znázorněny všechny fáze svařovacího procesu v diagramu tlak versus čas [8].



Obrázek 16 – Diagram tlak versus čas pro tepelné svařování [8].

Při tlakovém svařování se součásti přesunou do kontaktu s topným tělesem ve fázi I. a za pomoci relativně velkého tlaku se zajistí úplné přizpůsobení součásti a nástroje. Teplo z tepelného tělesa se na díly přenáší vedením, což má za následek místní zvýšení teploty v průběhu času. Při teplotě tání plastu začíná roztavený materiál plynout. Tímto natavením se odstraní povrchové nedokonalosti a vytvoří se hladký okraj. Část roztaveného materiálu je stlačena mimo svařovací plochu vlivem působení tlaku [8].

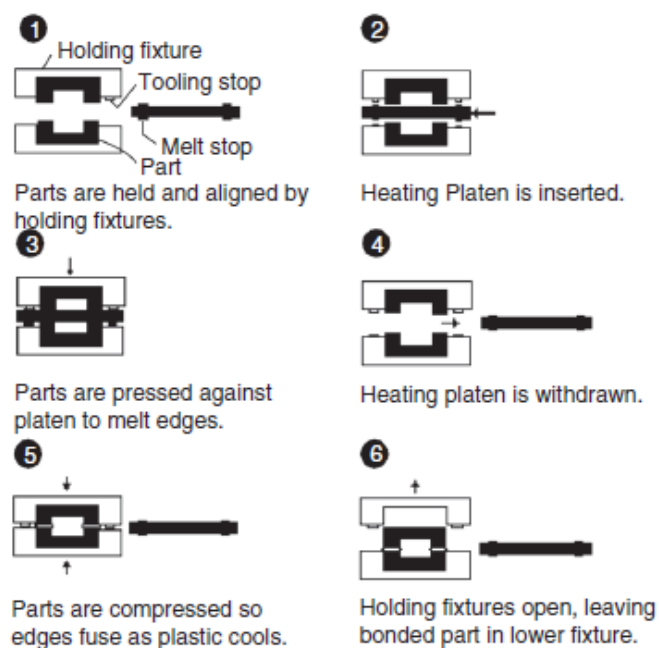
Ve fázi II. se tlak taveniny sníží, což dovolí rozšíření roztavené vrstvy. Tloušťka se zvyšuje s dobou ohřevu to znamená po dobu, kdy je součást v kontaktu s topným tělesem. Po dosažení dostatečné tloušťky nataveného materiálu dojde k oddělení topného tělesa a součásti [8].

Fáze III., která je fází přechodu, ve které dochází ke snížení tlaku a povrchové teploty vlivem odstranění topného tělesa. Tato fáze by měla být co nejkratší v ideálním případě ne delší než 3 sekundy, aby se zabránilo předčasnému ochlazení roztaveného materiálu. V případě dlouhé fáze přechodu se na okraji spoje vytvoří tenký povrch, který může ovlivnit kvalitu svaru [8].

Fáze IV. je spojení samotných součástí pomocí tlaku, přičemž se natavený materiál tlačí ven i v průběhu chlazení a tuhnutí. Intermolekulární difúze během této fáze vytváří polymerní řetězce, které určují sílu spoje. Protože konečné molekulární struktury je dosaženo, až na konci fáze chlazení je důležité udržovat tlak i během této fáze, aby se předešlo vzniku zbytkových napětí a deformací. Součástí této fáze je rozvoj mikrostruktury spoje, která ovlivňuje chemickou odolnost a mechanické vlastnosti spoje [8].

Svařování tlakem vyžaduje zařízení, ve kterém je možné aplikovaný tlak přesně řídit. Nevýhoda této techniky spočívá v tom, že nelze přímo řídit konečné rozměry svařovaných součástí. Změny v tloušťce taveniny a citlivost viskozity taveniny může mít u termoplastů za následek nepříjemné odchylky rozměrů konečné součásti [8].

Při svařování na dálku, které se také nazývá svařováním s řízeným posunutím je výše popsaný proces modifikován o použití pevných mechanických zárážek pro řízení procesu svařování a rozměrů finálního výrobku. Na obrázku 4.2 je graficky znázorněn proces tohoto svařování [8].



Obrázek 17 – Proces svařování na dálku [8].

V prvním kroku jsou díly vyrovnané v upínacích přípravcích a topné těleso je pomocí dorazů nastaveno na zadané vzdálenosti vůči přípravku. Vložení topného tělesa mezi součásti probíhá v druhém kroku a působení tlaku následně v kroku třetím. V třetím kroku začíná průběh fáze I. Natavený materiál je zastaven na geometrii přípravku a tím stoupá tloušťka taveniny (fáze II.) dokud se ve čtvrtém kroku (fáze III.) neodstraní topné těleso. V pátém kroku (fáze IV.) se součásti za pomoci tlaku lisují dohromady, čímž se vytvoří tvarový svar. Horní deska se odstraňuje v šestém kroku [8].

7.2 Výhody a nevýhody

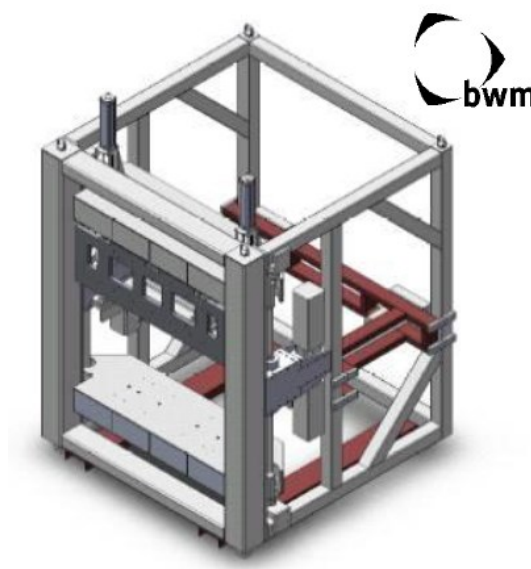
Svařování plastů pomocí technologie horkých zrcadel je jednoduchá a ekonomická technologie díky níž lze dosáhnout vysoko pevnostních a těsných svarů s malými i velkými díly. Touto technologií mohou být svařovány součásti se zakřivenou nebo složitou geometrií a nerovnosti povrchu mohou být vyhlazeny během fáze ohřevu. Různé materiály, které jsou kompatibilní, ale mají rozdílnou teplotou tavení lze svařovat nastavením rozdílných teplot na topném tělese. Proces svařování lze snadno automatizovat s plným sledováním parametrů. Hlavní nevýhodou této technologie svařování je dlouhá doba cyklu ve srovnání s jinými běžnými technologiemi, jako je vibrační svařování nebo ultrazvukové svařování. U malých součástí se cyklus pohybuje v rozmezí 10-20 sekund a pro velké součásti až 30 minut. U malých součástí je možno zvýšit efektivitu použitím nástroje s více lůžky pro svařování. Vzhledem k tomu, že teplo není lokalizované mohou se v některých případech nalepit součásti na topné těleso [8].

8 Zařízení pro tepelné svařování

V závislosti na svařovaných komponentech je možné použít standardizované stroje nebo speciální stroje na zakázku. Standardizované stroje mohou svařovat různé součásti za pomoci výměnných přípravků, což sebou nese vyšší nároky na pracovní sílu, jelikož je nutné zakládat a vykládat komponenty ručně. Specializovaná zařízení jsou obvykle určena pouze pro jeden typ výrobku a mohou být součástí velkoobjemové integrované výrobní linky. Takováto zařízení vykazují velký stupeň automatizace včetně zařízení pro podávání a vykládání materiálu pomocí robotizace. Klíčovými komponenty tepelného svařování jsou desky pro topná tělesa, přípravky pro založení komponent a ovládací systém pro polohování desek. Pohonné systémy stroje jsou řízeny pneumaticky nebo hydraulicky, což umožňuje přesné řízení tlaku. Odezva musí být co nejrychlejší, aby nedošlo k ochlazení nataveného materiálu. Statistického řízení svařovacích cyklů lze dosáhnout pomocí ovládacích panelů od obsluhy, kde se zobrazují všechny parametry stroje [8].

8.1 Zařízení použité pro testování

Pro testování přípravků pro svařování zadních skupinových svítilen byl použit nejnovější stroj HS28 společnosti BWM, který byl vyvinut v roce 2008. Nová generace tohoto stroje byla vyvinuta z důvodu zvětšení pracovního prostoru, vyšších rychlostí modulárnímu nastavení a řízení pomocí IPC. V porovnání s předchůdcem tohoto zařízení se pracovní prostor zvětšil z 900x670x410mm na 1200x1000x500mm přidaly se dva vakuové okruhy ze 2 na 4 a počet tepelných okruhů se zvýšil ze 4 na 16. Díky elektrickým pohonům se zrychlil posuvový čas z více jak 4 sekund na rovné 2 sekundy [9].



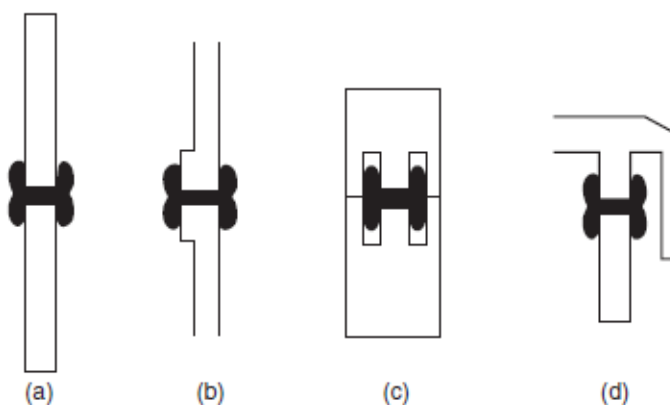
Obrázek 18 – Zařízení firmy BWM HS-28 [9].

9 Svařovací přípravky

Sestava svařovacích přípravků se skládá ze tří částí. Spodní deska, horní desky a topného tělesa. Topné těleso se obvykle vyrábí ze slitiny hliníku, který je velmi dobrým vodičem tepla a také je korozivzdorný. Řada elektrických topných patron je umístěna ve struktuře desky, aby bylo zajištěno rovnoměrné rozložení teplot po obou stranách. Termočlánek umístěný v blízkosti povrchu desky reguluje teplotu do 10 °C předepsané teploty. Jako prevence proti naleptání materiálu na rozná tělesa se používá povrchová úprava z polytetrafluoretylenu (PTFE). Vzhledem k tomu, že PTFE začíná degradovat při teplotě nad 270 °C, tak nesmí topné těleso tuto hranici překročit. Při potřebě svařování nad 270 °C se používá pro výrobu topného tělesa slitiny hliníku a bronzu bez dodatečné povrchové úpravy. Pro přesné spojení horní a spodní součásti je potřeba součásti ve spodní desce řádně upnout, tak aby se zabránilo deformaci během svařovacích tlaků. Pro tento případ je vhodné použití pneumatických přítlaků. Horní deska pro správnou pozici horního dílu využívá vakuové přísavky, které jsou také vhodné pro komplexní součásti [8].

9.1 Konstrukce produktu pro svařování

Na rozdíl od ultrazvukového a vibračního svařování nejsou téměř žádné limity pro výrobitelnost dílu pro tepelné svařování. Volba provedení spoje závisí na aplikaci svařence. V každém případě platí, že již v průběhu konstrukce součásti je potřeba konstruovat svarové plochy tak, aby byly co nejlépe svařitelné [8].

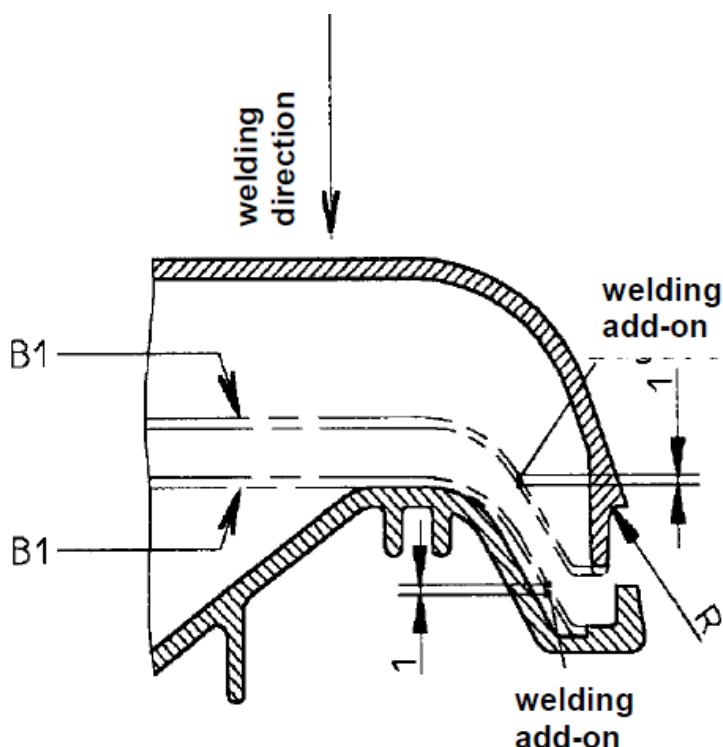


Obrázek 19 – Typy svarů pro tepelné svařování [8].

Pro jednoduché součásti, které nemají vysoké požadavky na nosnost se může použít jednoduchý tupý spoj (a). Zvýšit možnosti pro zatížení svaru můžeme docílit zvětšením svarové plochy (b), což je žádoucí u svařování plastů s vysokým obsahem plniva, protože tento materiál je hůře svařitelný. Spoj zobrazený na třetí pozici (c) je dvojitý spoj se skrytým

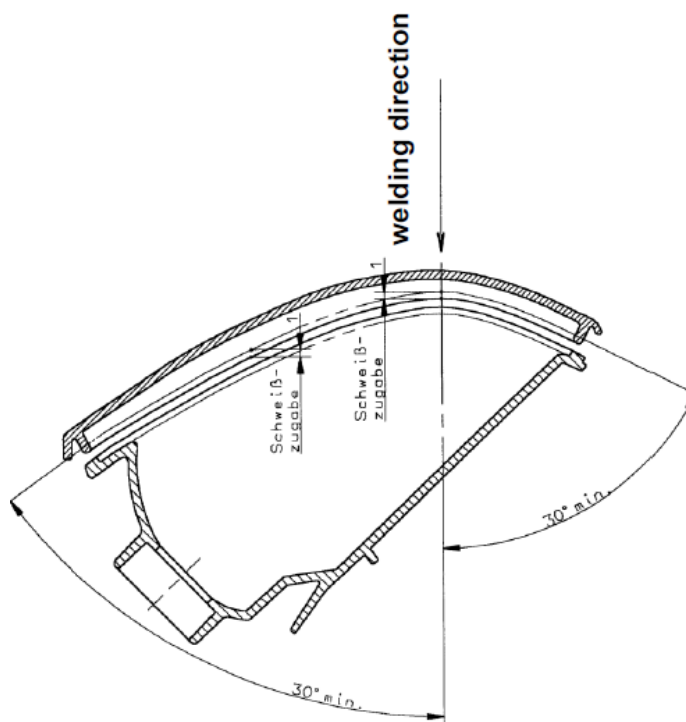
svarem, což je výhodné vzhledově, ale nevýhodné z hlediska zatížení, protože svarová oblast představuje méně než 50 % stěnového úseku. Obrázek (d) znázorňuje svar s postranní „skirtou“, která částečně kryje spoj. Pokud je svar umístěn na okraji, tak bude viditelný svařovací lem [8].

Interní pokyny pro konstrukci produktu předepisují přídavek pro svařování 1 mm na každé straně svaru, který musí být uvažován při konstrukci jednotlivých komponent pro svařování. Přídavek pro svařování musí být realizován, jako paralelní posun jmenovitého povrchu B1 [9].



Obrázek 20 – Interní pokyny pro přídavek na svařování [9].

Úhel svařovací plochy by měl být $\leq 30^\circ$ od svařovacího směru s výjimkou lze svařovat i v blízkosti 90° . V případě, že konstrukce výrobku nesplňuje tyto požadavky je nutné, aby byl produkt v přípravku natočen tak, aby se minimalizovaly úhly. V případě nemožnosti otočení produktu musí se přidat další zdvih (např. pneumatický) v takovémto případě musí být teoretický svařovací směr definován pod 45° [9].



Obrázek 21 – Znázornění svařovacího úhlu [9].

Z konstrukčního hlediska je třeba si dát pozor i na vnitřní komponenty. Nutné je dodržet minimální vzdálenost ≥ 5 mm pro umístění reflektorových ploch od svařované plochy, protože by mohla být optika poškozena působením tepelného záření z topného tělesa. Liší-li se směr odformování a svařovací směr musí se již v konstrukci uvažovat posun A , který vypočítáme ze vzorce 1 [9].

$$A = \tan \alpha \cdot \text{přídavek na svařování} \quad (1)$$

Posledním důležitým pravidlem pro konstrukci komponentů pro svařování je zajištění dobré podpory ve svařovacím přípravku, což znamená, že zadní část produktu musí být navržena tak, aby povrch, který je kolmo ke svařování měl pro podporu minimálně 2 mm prostor [9].

9.2 Materiály a výroba přípravků

Navzdory zachování stejného uspořádání jsou přípravky neustále zdokonalovány. Spodní díl přípravku je schopný kontroly komponentů, které musí být v danou chvíli již namontovány. Horní díl přípravku se doplňuje o těsnění pro lepší funkci vakua a aplikuje se na něj tvrdá povrchová úprava z důvodu prevence poškození. Topné těleso se vyrábí ze slitiny Cu-Si-Al, což je slitina lehkých kovů, která je vhodná pro vysokoteplotní aplikace. Jako další alternativa pro výrobu topného tělesa je MoldMAX[®] vysoce pevná beryliová

slitina mědi. Topné těleso se povrchově nikluje, aby odolalo dlouhodobému opotřebení. Pro rovnoměrné rozložení teploty ($\Delta T \leq 10K$) se topné patrony umísťují v blízkosti svařovací kontury tělesa. S novými stroji můžeme rozdělit tepelné okruhy na 16 říditelných obvodů [9].

9.3 Problémy a poruchy při svařování

Při sériových aplikacích se můžeme setkat s problémy, jako jsou zbytky taveniny na topném tělese, tahání materiálu (tzv. stringing) a opotřebení povrchů topného nástroje (významně na strmých plochách). Mezi potenciální řešení těchto problémů patří povrchové úpravy topných těles pomocí PTFE, vylepšení řízení procesu nebo bezkontaktním procesem. Často nejsou problémem stroje nebo přípravky nýbrž jednotlivé komponenty. Různé šarže vstřikovaných dílů vyžadují zásahy či seřízení přípravků, což by mělo být téma pouze ve fázi kvalifikace, ale bohužel se s tímto setkáváme také v sériové výrobě.



Obrázek 22 – Fotografie strun v produktu.

Jedním z možných problémů je zbytková tavenina na nástrojích, což může způsobit v následujících kusech dekorativní vady nebo netěsnosti. Tento typ problému závisí na typu a barvě materiálu mezi nejkritičtější patří šedý PC+ABS. Čím vyšší je tepelná stabilita materiálu, tím vyšší je riziko výskytu zůstatku materiálu na topných tělesech. Zbytky materiálu jsou v první chvíli měkké a schnutím se mění na tvrdou křehkou vrstvu, která může skončit na svařovaném povrchu nové součásti. K tomuto obvykle dochází po krátkém zastavení procesu, jako protiopatření by mohlo být v takovém případě kartáčování přípravku před dalším svařování. V případě čirých materiálů (PMMA) se tento problém normálně

nevyskytuje. Při teplotách nad 360 °C se aktivuje samočistící účinek a zbytky materiálu se v krátké době zcela odpaří.

Kvůli výše uvedeným zbytkům materiálu nebo z důvodu příliš nízkých teplot nástroje se roztavený materiál lepý na topné těleso a při odsunu topného tělesa se tento materiál prodlužuje a mění na struny. Struny materiálu se následně mohou objevit uvnitř produktu a toto se považuje za dekorativní selhání tudíž neprodejný kus. Tzv. strunování závisí na materiálu a stavu dílců (snižování vlhkosti snižuje strunování). Tento jev lze ponížit navýšením odjezdového času topného tělesa od komponent v programu. Tato změna má však své výhody a nevýhody. Mezi výhody můžeme řadit omezení výskytu strun materiálu, snížení počtu cyklů čištění na každých 20 minut a žádné dodatečné náklady. Mezi nevýhodami nalezneme prodloužení cyklu svařování a toto zvýšení může vést ke snížení pevnosti svaru.

Jedním z dalších řešení, jak vyřešit výše uvedené problémy je zavést delta svařování, což je kombinace svařování vysokými a nízkými teplotami v jednom svařovacím cyklu. Na straně čirého materiálu se používá vysokoteplotní proces a straně barevného materiálu se použije proces s nižší teplotou. Topné těleso pro nižší teplotu musí být povrchově upraveno pomocí PTFE. Teplota nástroje se sníží na cca 220°C. Teplota pro vysokoteplotní svařování se pohybuje kolem 400 °C, a to z důvodu snížení času pro plastifikaci materiálu. Jako PTFE povlak se používá teflon. Svařovací povrch teflonového topného tělesa se smí čistit pouze měkkým a čistým hadříkem. Nesmí se používat kartáče ani jiné čisticí prostředky. Takováto vrstva PTFE vykazuje omezenou životnost a obvykle musí být obnovována po 10 000 až 15 000 svařovacích cyklech. Existují dva typy nanesení teflonu, a to ručně štětcem nebo speciální vícevrstvý nátěr. V důsledku použití teflonového nátěru se doba ohřevu topného tělesa prodlouží cca o 10 sekund, takže doba cyklu se pohybuje okolo 55 sekund. Takto upravená topná tělesa téměř eliminují strunování, vyhneme se tak nežádoucímu zbytkovému materiálu ve výrobcích, vzhled svaru je hladký a rovnoměrný, sníží se citlivost na trhliny a také tepelná distorze, což má pozitivní vliv na rozměry produktu. Nevýhodou je dodatečné nastavení pro natírání topného tělesa a nižší životnost nátěru pro velké komponenty.

Během životnosti nástroje se často povrch opotřebí, a to nejčastěji korozí. Protipatřením proti korozi je použití nízkoteplotního svařování s PTFE povlakem a použitím chemického niklování pro kontaktní plochy.

10 Používané materiály a požadavky na kvalitu

10.1 Svařitelnost materiálů technologií horkých zrcadel

Pro technologii svařování pomocí horkých zrcadel jsou vhodné materiály v kombinační matici níže (Tabulka 2). Toto posouzení se týká pouze materiálů bez přísad. Pro materiály s přísadami je nutné provést příslušné testování svarů [9].

| | ABS | PC-ABS | ASA | PC-ASA | PC | PMMA | PA | POM | PE | PP | PS | SAN | SB |
|--------|-----|--------|-----|--------|----|------|----|-----|----|----|----|-----|----|
| ABS | X | O | | O | O | X | | | | | | | |
| PC-ABS | O | X | | O | O | X | | | | | | | |
| ASA | | | X | O | O | X | | | | | | | |
| PC-ASA | O | O | O | X | O | X | | | | | | | |
| PC | O | O | O | O | O | X | | | | | | O | |
| PMMA | X | X | X | X | X | X | | | | | | | |
| PA | | | | | | | X | | | | | | |
| POM | | | | | | | | X | | | | | |
| PE | | | | | | | | | X | | | | |
| PP | | | | | | | | | | X | | | |
| PS | | | | | | | | | | | X | | |
| SAN | | | | | | O | | | | | | X | |
| SB | | | | | | | | | | | | | X |

X = suitable for welding with each other

O = suitable for welding with each other with qualification

Tabulka 2 – Svařitelnost materiálů pomocí svařování horkými zrcadly [9].

10.2 Požadavky na kvalitu

Specifické požadavky na kvalitu zahrnují pevnost (např. pevnost v tahu, smykovou pevnost), vodotěsnost (např. odolnost vůči stříkající vodě, nepropustnost pod tlakem), rozměry, velikost mezer, dekorativní dokonalost, dekorativní vzhled svařovací housenky, rovnoměrný vzor svaru, nepřítomnost drobných částecek či chmýří [9].

Svarové spoje se zvýšenými nároky na kvalitu vyžadují přesně vyrobené díly a speciální zkušební kritéria. V případě potřeby musejí být na výkrese uvedeny příslušné zkoušky.

11 Zadní skupinové svítilny

Zadní skupinové svítilny automobilu v dnešní době poukazují na design dané automobilové společnosti. Dříve se jednalo pouze o žárovkové lampy, které signalizovaly, zda vozidlo brzdí, couvá nebo jej zviditelňovalo za noci či v mlze. Dnes s posunem technologií můžeme pomocí funkcí definovat image automobilu. Osvětlení koncové osvětlení (funkce tail) může vypadat, jako C v případě Škoda Auto nebo tři pruhy u BMW možností je opravdu mnoho. Většina zadních lamp z poslední doby používá LED diody, jako zdroje světla, kvůli jejich potenciálu úspory energie, ale vzhledem ke své velikosti nabízejí také úroveň univerzálnosti designu. Mezi základní světelné funkce patří koncová světla, brzdová světla, zpětná světla, zadní mlhová světla a směrová světla.



Obrázek 23 – Zadní skupinová svítlna Audi A8 [10].

11.1 Testovaná zadní skupinová svítlna

Výrobek, na kterém byla testována technologie svařování horkými zrcadly je produktem společnosti na výrobu předních a zadních světlometů. Jedná se o zadní skupinovou svítlnu pro vozidlo Volvo XC60. Tato zadní lampa se skládá ze dvou kusů, a to dílu jedna a dílu dva. Díl jedna je zasazen do karoserie vozidla a díl dva do kufrových dveří tímto se oddělila nová verze XC60 od svých předchůdců, protože původní modely měly pouze jednodílná

zadní světla. Oba díly jsou osazeny LED technologiemi pro světelné funkce a tvoří tak, dokonale uhlazený design vozidla.



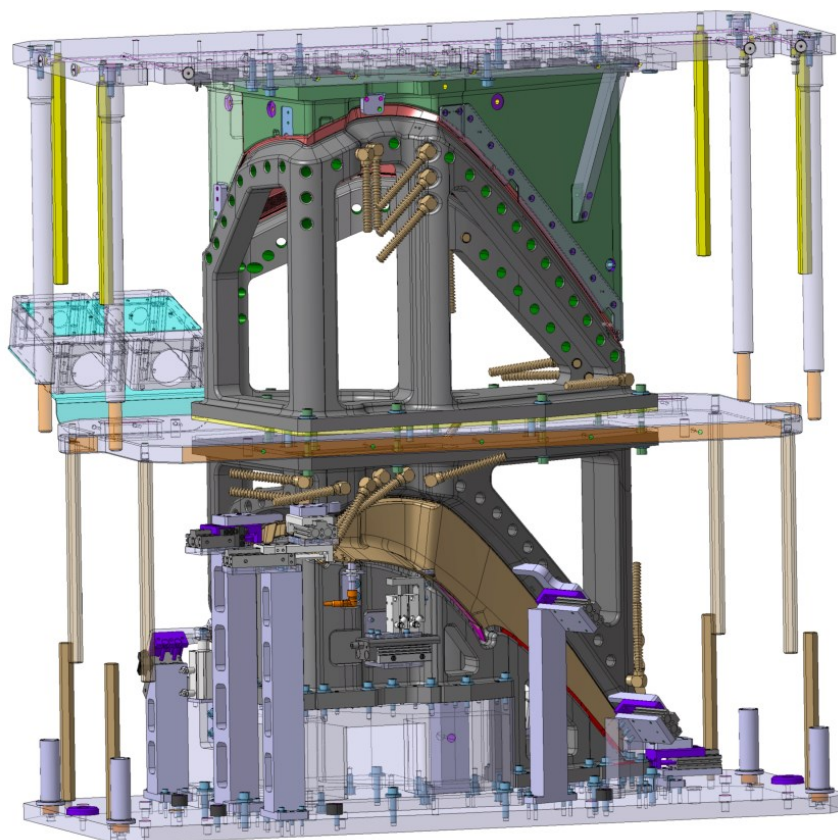
Obrázek 24 – Zadní skupinová svítlna Volvo XC60 [11].

Pro dané testování byl vybrán díl jedna záměrně kvůli své velikosti a složitosti. Nejedná se jen o složitost samotné lampy, ale také svařovacího přípravku. První a také hlavní díl je rozměrově velký a tvarově komplexní s několika zakřiveními. Výška lampy je 70 cm, šířka 40 cm a hloubka 22 cm. Uvnitř lampy jsou osazeny tlustostěnné optiky plošnými spoji s LED. Vše, co se nachází uvnitř lampy je pohledové, a tak je samotná montáž komponent náročná. Celkový počet komponent je 32 a váha finální lampy je 2,5 kg. Materiál krycího skla je PMMA (dvoubarevné) a materiál pouzdra je ABS (černý).

11.2 Testovaný přípravek pro teplené svařování

Přípravek byl konstruován pomocí CAD systému CATIA, který je v automobilovém průmyslu nezbytnou nutností. Po mechanické konstrukci bylo nutné připravit pneumatickou dokumentaci a elektro dokumentaci. Mechanicky je tento přípravek vybaven třemi upínkami pro fixaci pouzdra v přípravku, před centrováním a centrováním pro dosažení co nejlepší pozice skla vůči pouzdru. Před centrováním je realizováno pomocí čtyřech válců a samotné pro centrování je použito pěti válců. Přítomnost pouzdra je kontrolována pomocí indukčního snímače a správnost založení je kontrolována pomocí kapacitního snímače.

Procesní úkony prováděné na tomto přípravky jsou v následujícím sledu: založení pouzdra obsluhou (notifikace pomocí dvou snímačů), založení skla obsluhou na pouzdro pomocí před centrování a stisknutí tlačítka start na stroji. Proběhne centrování krycího skla, sjetí horní desky se sací hlavou dolů a nasátí skla pomocí vakua. Po nasátí skla odjede horní deska zpět do výchozí pozice, zezadu přijede středová deska s topnými tělesy a dojde k posuvu desky s pouzdem a sklem do kontaktu s topnými elementy – proces nahřívání.

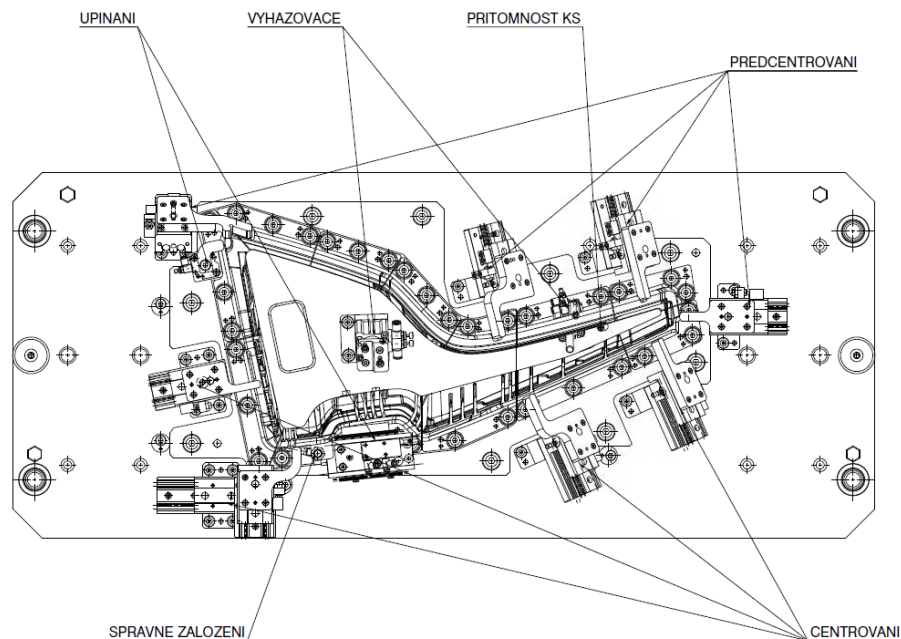


Obrázek 25 – Pozice procesu nahřívání skla a pouzdra [9].

Po nahřátí dojde k posuvu horní a spodní desky z důvodu uvolnění desky s topnými tělesy a jeho odjezdu do výchozí pozice. Následně dojde k zalisování pomocí tlaku skla na pouzdro, přičemž se vytvoří svar. Po svaření komponent odjede horní deska se sací hlavou do výchozí pozice a obsluha může vyjmout hotovou lampu ze zakládání pro pouzdro.

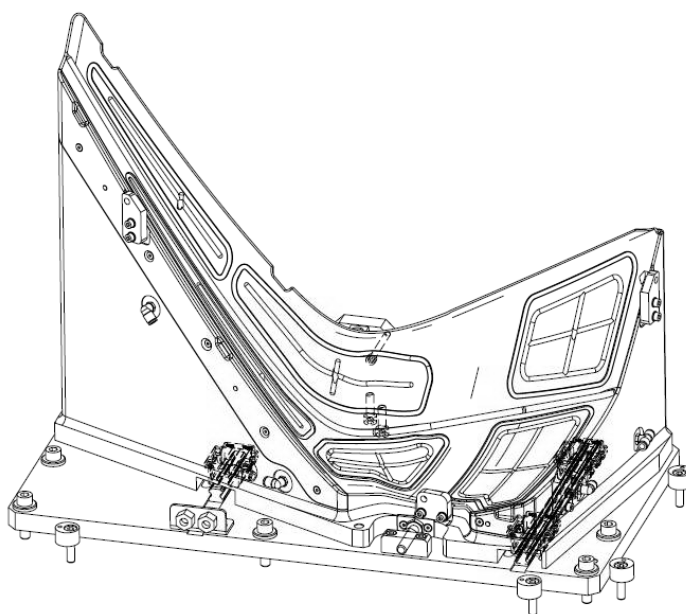
Spodní deska je osazena nastavitelnými segmenty pro založení pouzdra. Těchto nastavitelných segmentů je na přípravku dvanáct tvarově jedinečných dílů z čehož sedm jich je vyrobeno z ušlechtilé mangan-chromové oceli (17MnCr5 ČSN 14 220) a následně je jejich povrch zušlechťován povrchovou úpravou – nitridací. Zbýlých pět segmentů je vyrobeno z materiálu CERTAL[®], což je slitina EN AW 7022 i jejich povrch je zušlechťován, ale v tomto případě chemickým niklováním. Dále najdeme na spodní desce stojny, které

slouží, jako podpěry pro před centrovací a centrovací válce a komponenty nebo upínací mechanismy či držáky se sensory pro kontrolu založení a její správnosti.



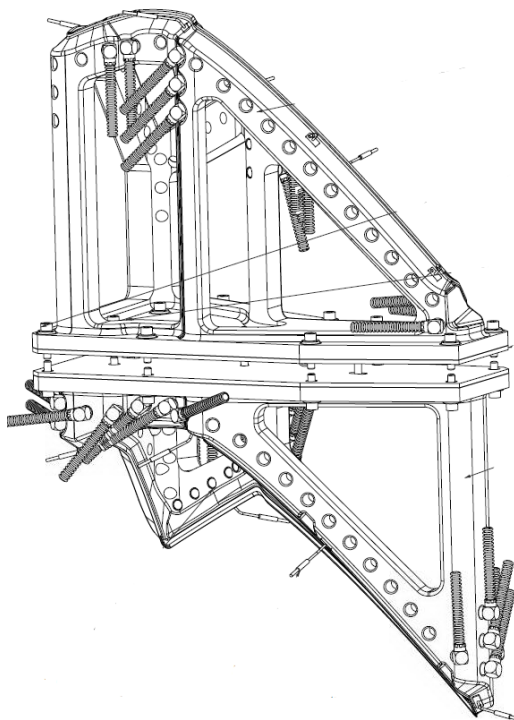
Obrázek 26 – Osazená spodní deska přípravku [9].

Horní deska přípravku je určena pro manipulaci s krycím sklem, takže je na ni namontovaná sací hlava, která je osazena ejektorem a gumovými těsněními. Samotná hlava se obrábí v sestavě z důvodu dodržení přesnosti výsledného dílu. Tvarové plochy se frézují podle 3D dat a následně se leští. Jako materiál byl opět zvolen CERTAL[®]. Hotový díl se upravuje pomocí chemicko-tepelné úpravy proti oxidaci – eloxováním.



Obrázek 27 – Sací hlava [9].

Procesně nejdůležitější je středová deska, která je nositelem topného tělesa, jak pro sklo, tak i pro pouzdro. Tyto topná tělesa jsou obráběna, jako jeden kus a použitý materiál je vysoko pevnostní MoldMAX[®], což je beryliová slitina mědi. Funkční plochy se povrchově zušlechťují niklováním. Takto připravené těleso je osazováno topnými patronami společnosti Delta-t v předem definovaných blocích rozdělených po šesti pro každé z topných těles pro jejich separátní ovládání a jsou doplněny o teplotní čidla. Na středovou desku jsou montovány pomocí šroubů a tělesa se podkládají izolační deskou vyrobenou z bez azbestového materiálu DOTHERM 600M, který je odolný vůči vysokým teplotám. Jednotlivé topné patrony jsou vyraženým číslem označeny pro jednodušší identifikaci problémů či z důvodu nutné výměny. Před prvním použitím se na povrch funkčních ploch nanese teflonová vrstva. Topné těleso se ohřeje na 50 °C a nanese se první vrstva teflonu 420-106. Následně se těleso ohřeje na 85 °C a nechá se první vrstva schnout po dobu 30 minut. Nanese se druhá vrstva, tak aby neprosvítal kov a těleso se zahřeje na provozní teplotu. Po této úpravě je možné přípravek plně použít.



Obrázek 28 – Tepelná tělesa pro sklo a pouzdro [9].

Převoz přípravku je umožněn na dvě části, a to spodní a horní deska založeny na sobě pomocí transportních tyčí. Samotná tepelná tělesa jsou převážena na speciální transportní konstrukci, ke které jsou přišroubována. Montáž těchto těles probíhá na otočné konstrukci pro dostupnost obou stran dle potřeby. Při vložení přípravků do stroje je nezbytné kontaktování elektrických a pneumatických konektorů.

12 Zkoušky svarového spoje

Zkoušení svarového spoje probíhalo na zkušebních vzorcích v souladu s podnikovými normami a nařízeními. Dle interních norem se regulují požadavky na proces svařování a všechny povinné zkoušky, které musí být provedeny, aby se zajistilo, že proces výroby svařování je prováděn za řízených podmínek. Jedná se zejména o ověření robustnosti svařovaných produktů vyrobených v oblasti výroby s ohledem na jejich shodu s požadavky na jakost finálního výrobku [9].

12.1 Kontrola parametrů

Obecným účelem této zkoušky je monitorování a kontrola klíčových parametrů týkajících se stroje a přípravku. Pro tuto zkoušku není potřeba žádné speciální vybavení. Proveďte se kontrola nastavených parametrů a porovná se s parametry definovanými. Výsledkem kontroly je stanovení, zdali se parametry shodují s definovanými nebo jsou v toleranci. Definované parametry a jejich tolerance:

| Funkce | Hodnota | Tolerance |
|--|---------|-----------|
| Výhřevný okruh 1,2,3,4,9,10 - krycí sklo | 430 °C | ±30 °C |
| Výhřevný okruh 5,6,7,8,13,14 - pouzdro | 230 °C | ±30 °C |
| Čas ohřevu krycího skla | 15 s | ± 5 s |
| Čas ohřevu pouzdra | 10 s | ± 5 s |
| Čas spojení | 8 s | ± 3 s |
| Pozice osy 1 - nahřívání | 225 mm | ± 2 mm |
| Pozice osy 2 - nahřívání | 374 mm | ± 2 mm |
| Pozice osy 3 - nahřívání | 780 mm | ± 2 mm |
| Pozice osy 1 - spojení | 383 mm | ± 1 mm |
| Pozice osy 2 - spojení | 600 mm | ± 0,0 mm |
| Posuv topného tělesa | 4 mm | ± 0,5 mm |

Tabulka 3 – Definované parametry a jejich tolerance.

Výše uvedené parametry byly vizuálně zkontrolovány na řídicím počítači stroje s výsledkem, že všechny parametry jsou v toleranci. Tato kontrola se musí provést vždy před první výrobou, v průběhu výroby při výměně směn, na konci každé výroby a při úpravě přípravků nebo jejich opravě.

12.2 Zkouška těsnosti na pokles tlaku

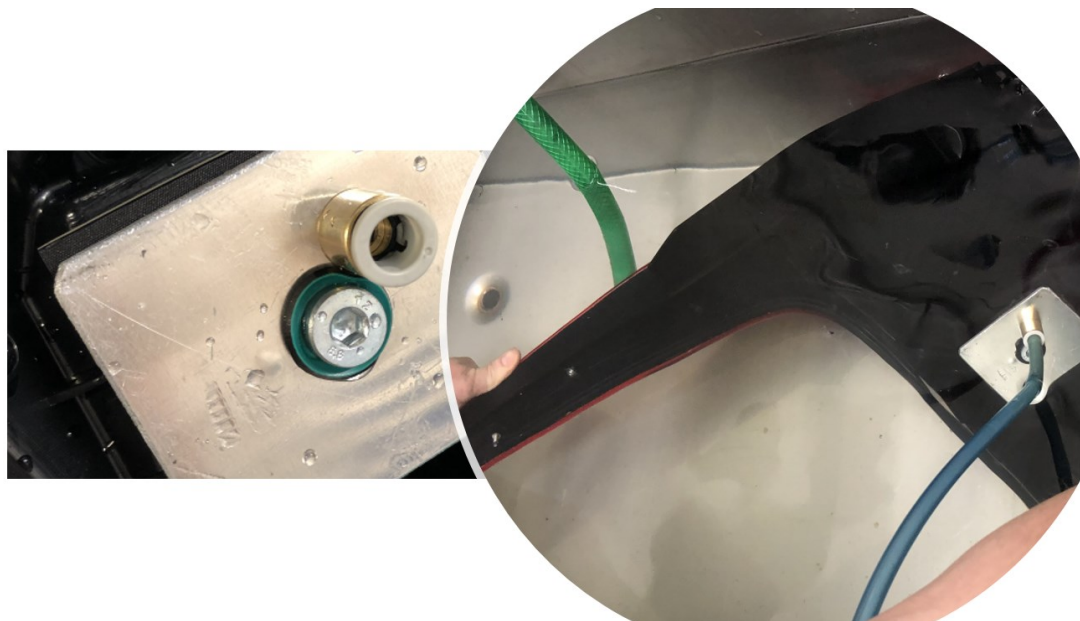
Zkouška těsnosti zadní skupinové svítidly se provádí vždy na začátku výroby pro její uvolnění a následně v přípravku a určenému stroji pro těsnost na 100 % výroby v lince. Pro zkoušku těsnosti je nutné definovat objem lampy, a dle objemu nastavit parametry tlaku a plnění. V tomto případě bylo zvoleno pro zjištění objemu lampy zvážení samotné svařené lampy a její následné naplnění vodou a opětovné zvážení. Jedná se o nejjednodušší možnost zjištění objemu, protože voda při 20 °C je hodnotou téměř 1:1 l / kg. Vážení probíhalo na kalibrované váze. Zvážená samostatná lampa měla váhu po zaokrouhlení 1 310 g, a při zvážení lampy naplněné vodou jsme dostali hodnotu 5 480 g. Při odečtení rozdílů váhy můžeme říct, že objem zadní lampy je 4,17 l.



Obrázek 29 – Fotodokumentace z vážení zadní lampy.

Pro zkoušku těsnosti musí být použito zařízení s nastavitelným zdrojem stlačeného vzduchu až 60 mbar pro zabezpečení plnicího tlaku. Zadní lampa je plněna jedním otvorem hadicí, která funguje také, jako měřicí hadice úniku. Testovací tlak je zvolen dle normy pro lampy a světlomety pod 5 l v rozmezí od 30–50 mbar. Plnicí tlak musí být větší než testovací. Dále bylo nutné nastavit plnicí čas, tak aby za tento čas byla dosažená hodnota plnicího tlaku v lampě. Čas ustálení je minimální čas, při kterém únik vzduchu směřuje k nule v absolutně těsné zadní lampě. Tento únik je kontrolován zařízením a následně vyhodnocen, jako OK nebo NOK kus. Plnicí tlak pro testovanou zadní lampu byl vzhledem k jejímu objemu zvolen 37 mbar, minimální plnicí je vzhledem k toleranci ± 3 mbar 34 mbar a maximální je roven 40 mbar. Čas plnění byl stanoven na 5 vteřin stejně, jako čas ustálení. Míra netěsnosti byla

nastavena na 1 -0,01 mbar·l/s. Zkouška těsnosti proběhla v akváriu s vodou pro možnost optické kontroly v případě úniku tlaku vzduchu, aby bylo možné ihned definovat, zdali je netěsný svar nebo je chyba v zatěsnění otvorů. Pro plnění byla vyrobena plnicí hliníková krytka, která byla zafixována k zadní lampě pomocí šroubku s těsněním a těsnění bylo použito také po hliníkovou podložku, aby se zabránilo případnému úniku vzduchu.



Obrázek 30 – Přípravek pro plnění a zkouška těsnosti v akváriu.

Vyhodnocení zkoušky proběhlo přístrojem, jako OK. Opticky nebyl zpozorován žádný únik tlaku skrze zatěsněné otvory.

12.3 Destruktivní zkouška tlakem

Tato zkouška se používá pro vyhodnocení pevnosti svarového spoje mezi krycím sklem a pouzdrem lampy. Aby se předešlo případným zraněním musí se zkouška provádět v uzavřeném boxu, tak aby při roztržení lampy nedošlo k odletu částic. Tlak v lampě se navyšuje po vhodných krocích např. po 50 mbar, dokud není lampa mechanicky zničena. OK výsledku je dosaženo je-li tlak při roztržení vyšší než definovaný minimální tlak pro roztržení. Hodnota minimálního tlaku pro roztržení specifikuje pevnost svarového spoje mezi krycím sklem a pouzdrem pomocí měřitelné hodnoty. Definice minimálního tlaku pro roztržení je založena na teoretických pravidlech výpočtu. Výpočet je založen na výchozí hodnotě $\sigma = 1,0 \text{ N/mm}^2$, ploše svařovaného povrchu (mm^2) a vnitřním povrhu krycího skla (mm^2). Z těchto hodnot vyplývá vzorec 2 [9]:

$$\text{Minimální tlak pro roztžení} = 1,0 \times \frac{\text{Plocha svařovaného povrchu}}{\text{Vnitřní povrch skla}} \quad (2)$$

Pro testovanou zadní skupinovou svítidnu bylo potřeba nejdříve vypočítat plochu svařovaného povrchu a povrch vnitřní plochy skla. Plocha svařovaného povrchu je násobek délky svařovací hrany, což je obvod skla s tloušťkou svařovací hrany. Plochu vnitřního povrchu skla vypočítáme násobkem teoretické šířky a výšky skla. Tyto údaje byly vyčteny z CAD softwaru CATIA a výpočet je následující:

$$\text{Plocha svařovaného povrchu} = \text{délka svařovací hrany} \times \text{šířka svařovací hrany}$$

$$\text{plocha svařovaného povrchu} = 1940 \text{ mm} \times 1,6 \text{ mm}$$

$$\underline{\text{plocha svařovaného povrchu} = 3104 \text{ mm}^2}$$

$$\text{plocha vnitřního povrchu skla} = \text{délka skla} \times \text{šířka skla}$$

$$\text{plocha vnitřního povrchu skla} = 615 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$$

$$\underline{\text{plocha vnitřního povrchu skla} = 184500 \text{ mm}^2}$$

$$\text{minimální tlak pro roztržení} = 1,0 \times \frac{3104}{184500}$$

$$\underline{\text{minimální tlak pro roztržení} = 0,0168 \text{ N/mm}^2}$$

$$\text{Konverze: } 10\,000 \times 0,0168 = 168 \text{ mbar}$$

Dle výpočtu bylo definováno, jakého minimálního tlaku má být dosaženo před roztržením skla od pouzdra. Testování probíhalo na sériovém testovacím zařízení pro uvolňování výroby. Vzhledem k tomu, že se jedná o velikostně nestandardní zadní lampu musela být lampa v ochranném boxu pouze přivřena a zakryta krycí tkaninou. Plnění probíhalo přes adaptér, který byl použit pro zkoušku těsnosti. Na automatizovaném plnicím zařízení byly nastaveny parametry dle výpočtu a následně spuštěno plnění. Mezi svařením testovaného kusu a jeho samotným plněním bylo vyčkáno 15 min z důvodu dosažení správného výsledku. K roztržení skla došlo při 268,3 mbar, což znamená, že pevnost svaru je větší, než je minimální požadovaná. Zkouška byla vyhodnocena, jako OK.



Obrázek 31 – Nastavené parametry, dosažený tlak a detail roztržení skla.

12.4 Nedestruktivní zkouška tlakem

Nedestruktivní zkouška tlakem se používá k vyhodnocení pevnosti nebo robustnosti svarového spoje mezi krycím sklem a pouzdem bez znehodnocení produktu. Tento test je vhodné používat pro menší součásti, kde je tlak vzduchu nižší než očekávaný tlak vzduchu pro roztržení. Tlak pro roztržení musí být dostatečně nízký, aby se předešlo jakémukoliv druhu poškození např. mikrotrhliny, ale zároveň musí být vyšší než tlak při zkoušce těsnosti. Tato zkouška se používá v kombinaci s jinými nedestruktivními zkouškami. Hodnotu tlaku pro nedestruktivní zkušeni vypočítáme, jako 66 % podíl tlaku pro destruktivní zkoušení. Tato hodnota byla vypořizována na předešlých projektech a stala se normovanou hodnotou. Výsledný tlak musí být vyšší než tlak na zkoušce těsnosti, jinak nemůže být zkouška použita. Vyhodnocení zkoušky má dvě kritéria, a to nedestruktivní zkušeni dle výpočtu a následná zkouška těsnosti. V případě, že jsou obě tato kritéria splněna, tak je vzorek vyhodnocen, jako prodejný kus. Výpočet nedestruktivního tlaku pro testovanou zadní lampu [9]:

$$\text{nedestruktivní tlak} = 66\% \times \text{minimální tlak pro roztržení}$$

$$\text{nedestruktivní tlak} = 66\% \times 168 \text{ mbar}$$

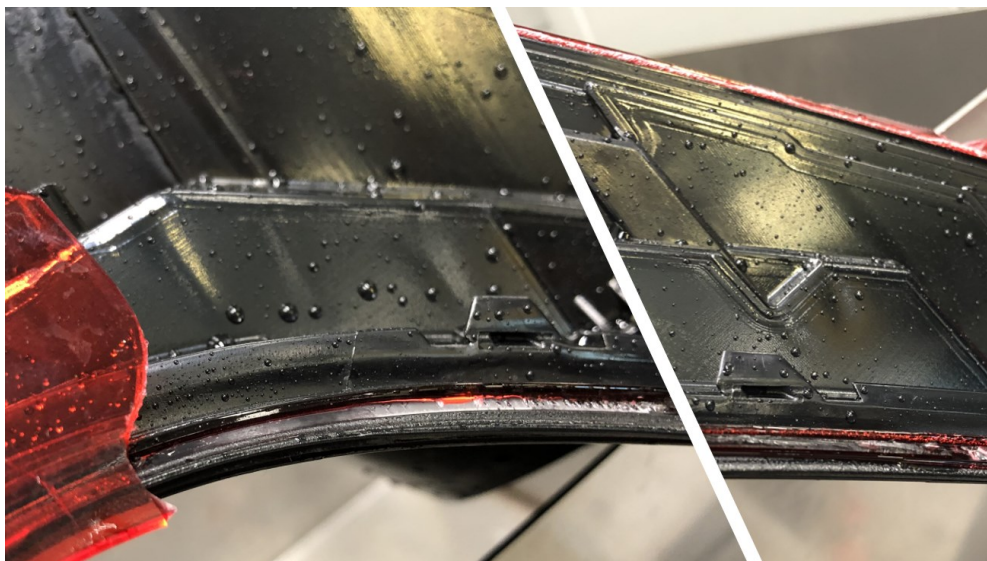
$$\text{nedestruktivní tlak} = 110 \text{ mbar}$$

Průběh zkoušení je stejný, jako u destruktivního zkoušení tlakem. Zadní lampa je vložena do uzavíratelného boxu a pomocí automatizovaného plnicího zařízení je naplněna vzduchem v našem případě na 110 mbar. Touto zkouškou lampa prošla bez jakéhokoli

vizuálního poničení. Následně proběhla zkouška těsnosti pro vyloučení možných poškození, kde lampa také prošla, jako OK kus. Výsledkem testování je tedy, že zadní lampa prošla všemi kritérii a může být označena, jako OK.

12.5 Destruktivní zkouška

Destruktivní zkouška světlometu se používá, jako rychlé vyhodnocení svarového spoje mezi krycím sklem a pouzdrem. Tato zkouška nesmí být součástí kontrolního plánu, pokud je možné provést destruktivní zkoušku tlakem. Nicméně umožňuje technologovi rychle vyhodnotit výsledek svařování před zahájením testování dle kontrolního plánu. Pro provedení rychlého destruktivního testu je zapotřebí kladivo a ochranné pomůcky. Krycí sklo v místě svarového spoje za pomoci kladiva rozbijeme a zkoumáme, zda bylo dosaženo dostatečného spojení mezi krycím sklem a pouzdrem. Alternativou k tomuto rychlému testu je pro některé aplikace pevnostní zkouška na zkušebním stroji. Pro provedení destruktivní zkoušky pevnosti je zapotřebí zkušební stroj společně se speciálními upínacími přípravky. Svařená součást je mechanicky testovacím zařízením zničena a jsou sledovány potřebné síly pro zničení. Kromě vyhodnocení lomového vzoru se použije pro vyhodnocení kvality svaru zjištěná síla. Zjištěná síla je převedena na napětí [N/mm^2] nebo hodnotu momentu [Nm]. Dále se v rámci destruktivní zkoušky vyhodnocuje struktura lomu. Zkoumají se dva faktory, a to selhání adheze (přerušení mezi materiály) a selhání soudržnosti (přerušení jednoho z materiálů). Vyhodnocení poměru mezi poruchami soudržnosti a adheze je taková, že pokud je soudržnost minimálně 80 % a nejvýše 20 % je selhání adheze výsledek zkoušky je hodnocen, jako OK. Maximální délka spojeného selhání adheze je ≤ 20 mm. Pokud jsou splněna všechna kritéria je svar v pořádku a není potřeba proces optimalizovat [9].



Obrázek 32 – Detail svarové hrany po destruktivní zkoušce.

Pro destruktivní zkoušku byl použit stejný testovací vzorek, který byl použit pro destruktivní zkoušku tlakem. Kladivem byl rozbit svar a odlámáno sklo. Při kontrole provaření materiálů bylo vyhodnoceno, že vzorek nevykazuje žádné známky nekvality, a tudíž nutnosti optimalizace svařovacího procesu. Výsledek byl konzultován s pracovníkem kvality a technologem pro svařování a bylo potvrzeno naše tvrzení o správnosti svaru.

12.6 Zkouška natavení materiálu

Testování natavení komponent (krycí sklo a pouzdro) je podmínkou pro rovnoměrnou kvalitu svaru podél svarové linie mezi oběma komponenty. Vyhodnocení zkoušky natavení se provádí vizuální kontrolou plastifikovaných vzorků krycího skla a pouzdra. Vzorky se natavují před prvním svařením. V ručním režimu stroje se přejde do fáze nahřívání a po ukončení fáze se komponenty vyjmou a posoudí se jejich kvalita. Kritéria pro vyhodnocení OK vzorku jsou, že tvar plastifikované povrchu musí mít rovnoměrný obvodový tvar, jakákoli vada nebo přerušení vede k tomu, aby se vzorek vyhodnotil, jako NOK.



Obrázek 33 – Detail dokumentace natavení svarového spoje.

Dle přiložených fotografií můžeme říci, že plastifikace povrchu svaru nevykazuje žádné vady nebo nedokonalosti a můžeme být spuštěna produkce. Tuto zkoušku je nutné provádět před každým začátkem výroby a dále na začátku každé směny. Není nutností provádět toto zkoušení při ukončování výroby. V případě, že by byl výsledek NOK je nutné mechanicky seřídít přípravek a provést testování ještě jednou.

12.7 Vizuální kontrola svaru

Tato kontrola se provádí, aby se zjistilo, zda svařený produkt a jeho svar vykazuje stejný vzhled jakosti, jako uvolněný vzorek vnitřní kvality. Po operaci svařování se opticky porovná vzhled a kvalita svaru s uvolněným vzorkem vnitřní kvality. Svařování musí vypadat podobně, jako u uvolněného vzorku. V případě jakýchkoli odchylek je nutné kontaktovat kontrolora kvality a provést opětovné uvolnění nebo přenastavení parametrů a nové zkoušení. Mezi odchylky patří např. vzhled, vměstky, velikost a homogenita svarové housenky apod. [9].



Obrázek 34 – Svařený vzorek a detail svaru.

Testovaný vzorek se podařilo uvolnit s interním kontrolorem kvality, který musel uvolnit drobou neshodu kvality svarové housenky v horní části lampy.

13 Závěr

Cílem této diplomové práce bylo ověření vhodnosti zvolené technologie svařování pro zadní skupinovou svítidnu s ohledem na kvalitu svarového spoje. Práce se věnuje představení zvolené zadní skupinové svítidny a jejím testováním. Výsledkem je vyhodnocení kvality a pevnosti svarového spoje.

Teoretická část je věnována teorii plastů a jejich vlastnostem a převážně se věnuje spojování plastů. Jsou zde popsány všechny důležité technologie spojování plastů od mechanické montáže přes lepení až po svařování pomocí laseru. Část práce se věnuje svařitelnosti plastů. Nedílnou součástí teoretické části je také zaměření se na plasty a jejich uplatnění v automobilovém průmyslu.

V praktické části je teoreticky rozebrána problematika svařování pomocí horkých zrcadel a specifikace zařízení používané pro svařování zadních světel automobilu. Byla provedena studie problémů souvisejících se svařováním za pomoci této technologie. Úkolem experimentální části bylo na zvoleném produktu analyzovat svařovací vybavení a provést zkoušky svarového spoje. Produktem byla zadní skupinová svítidna větších rozměrů. Analýza svařovacího přípravku ukázala, že se nejedná o jednoduché zařízení a je za potřeby odbornosti pro první nastavení přípravku před svařováním. Dle podnikových norem a předpisů proběhlo na svařených vzorcích testování na pevnost a kvalitu svaru, které bylo fotograficky zdokumentováno a následně konzultováno s oddělením kvality a technologií.

Výsledkem testování bylo, že svarový spoj byl vyhovující, jak dle interních norem, tak požadavkům zákazníka. V rámci diskuze bylo zmíněno, že v případě potřeby vzhledově kvalitnějšího svaru by se muselo pořídit bezkontaktní svařovací zařízení. Jedná se o technologii velmi podobnou technologii svařování horkými zrcadly s tím rozdílem, že nahřívání komponentů probíhá bezkontaktně pomocí horkého vzduchu. Tímto by se mohlo docílit rovnoměrnějšího natavení materiálu a tím vzhledově lepšího svaru. Bohužel touto technologií zatím podnik nedisponuje.

14 Seznam použité literatury

- [1] CHASIS, David A. *Plastics and Sustainable Piping System*. New York: Industrial Press, 2014, s. 123-139. ISBN 978-0-8311-3498-3.
- [2] SHRIVASTAVA, Anshuman. *Introduction to Plastics Engineering*. Amsterdam: Elsevier, 2018. ISBN 978-0-323-395000-7.
- [3] BĚHÁLEK, Luboš. *Polymery*. Liberec: Publi, 2014. ISBN 978-80-88058-687.
- [4] BENDLER, John T. *Handbook of Polycarbonate Science and Technology*. New York: Marcel Dekker, 2000, s. 317-337. ISBN 0-8247-9915-1.
- [5] OLSON, D.L., SIEWART, T.A., LIU, S., EDWARDS, G.R. *ASM Handbook, Volume 6: Welding, Brazing and Soldering, 10th Edition*. AMS International, 1993, s. 1547-1569. ISBN 0-87170-377-7.
- [6] TWI GLOBAL [online]. *Friction Welding of Plastics*. Cambridge, U.K.: Connect, July 2002 [vid. 5 February 2019]. Dostupné z: <https://www.twi-global.com/technical-knowledge/job-knowledge/friction-welding-of-plastics-059>
- [7] CHOOKAZIAN, Steven M [online]. Q&A: Electromagnetic Welding of Plastics. Plastic Decorating, October 2016 [vid. 10 February 2019]. Dostupné z: <http://www.emabond.com/pdf/Ask%20the%20Expert%20Plastics%20Decorating%20Mag.pdf>
- [8] TROUGHTON, Michael J. *Handbook of Plastics Joining – A Practical Guide (2nd Edition)*. William Andrew Publishing, 2008, s. 3-13. ISBN 978-0-8155-1976-8.
- [9] Podnikové normy a nařízení.
- [10] *MOTORTREND: 15 Amazing 2019 AUDI A8 amenities* [online]. Motor Trend Group, LLC, 2017 [vid. 29 April 2019]. Dostupné z: <https://www.motortrend.com/news/15-amazing-2019-audi-a8-amenities/#2019-audi-a8-l-tail-light>
- [11] *CARICOS: 2018 Volvo XC60* [online]. Caricos.com, 2017 [vid 29 April 2019]. Dostupné z: https://www.caricos.com/cars/v/volvo/2018_volvo_xc60/images/203.html
- [12] *1001crash.com: Lessons learnt for aviation safety* [online]. 1001crash.com, 2011 [vid 29 December 2018]. Dostupné z: <https://www.1001crash.com/index-page-composite-lg-2.html>

[13] AUSPERGER, Aleš. *Technologie zpracování plastů*. Svitavy, Publi, 2016. ISBN 978-80-88058-77-9.

[14] MOALLI, J. *Plastics Failure – Analysis and Prevention*. William Andrew Publishing, 2001. ISBN 978-0-8155-1865-5.

[15] Střední Škola Stavební Třebíč. *Normy pro destruktivní a nedestruktivní zkoušky svarových spojů z termoplastů*. [online]. Joomla! [vid 30 April 2019]. Dostupné z: http://www.svarciskola.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=4&Itemid=11

[14] CALHOUN, Allison. *Plastic Technician's Toolbox, Volumes 1-6*. Society of Plastics Enginners, 2002, s. 67-78. ISBN 978-1-59124-995-5.